الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DES SCIENCES
Département des sciences de la nature et de la vie

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de Master

En Sciences Agronomique

Spécialité : Phytopathologie

Thème

Rôle de silicium dans l'atténuation de l'inhibition photosynthétique et du stress oxydatif induits par les pesticides chez la tomate (*Solanum lycopersicon*)

Présenté par :

Melle AZEB Karima

Soutenu le : 22/06/2022

Devant le jury composé de :

Mme. Mostefaoui Houda	MCA	U. Médéa	Présidente
Mr. Kirdi Bilal	MAA	U. Médéa	Examinateur
Mr. CHAOUCH Abderrezak	MCA	U. Médéa	Encadreur
Mr. Touzout Nabil	Doctorant	U. Mostaganem	Co-encadreur

Année universitaire 2020/2021

Remerciement:

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات والذي وفقني الى اتمام هذا العمل

Je tiens tout d'abord à remercier mon promoteur, Dr chaouch. A pour leurs soutiens ainsi pour sa générosité dans les connaissances qu'il a su partager avec moi.

Mes remerciements, mon respect et ma gratitude à mon Co-promoteur. Dr Touzout. N, pour son ouverture, ses conseils, sa patience et la confiance qu'il m'a témoigné dans la réalisation de mon travail de recherche.

Je remercie également les membres de jury :

Dr Moustefaoui. H et Dr Kirdi. B

Comme je suis reconnaissante a:

La pépinière Rami de Ain taya Alger

Locale des produits phytosanitaires de Médéa Mr kourdali.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace :

Je dédie ce travail à:

La plus grand femme à l'univers qui s'est fatiguée et guidée, celle qui m'a donné naissance à ce monde et grâce à ses prières continues, je suis ici aujourd'hui celle qui attendait avec impatience mon succès chère maman.

À l'homme de ma vie, mon seul ami, qui m'a conduit à la brillance et succès durable, celui qui nous a enseigné les principes de la science et planté en nous l'amour de sa demande, et c'était notre bras protecteur mon compagnon depuis l'enfance cher papa.

Mes frères qui m'ont encouragé m'ont conseillé et guidé qui ne m'ont jamais quitté: Chaouki, Omar, Hocine, Réda et fodhile

Mes sœurs ceux que j'ai trouvés à mes côtés dans les moments difficiles: Siham, aicha et Sara

Comme je dédie ce travail à mes neveux, mes petites nièces.

Résumé :

Les effets délétères des polluants (pesticides) sur la vie humaine, animale, végétale et même sur notre climat sont bien connus. Le but de ce travail est de déterminer les éventuels effets phytotoxiques du LAZER(LAZ) et/ou AGRIM 25 (AGR) sur une culture non ciblée et économiquement importante la tomate (*solanum lycopersicon*) et le rôle du silicium dans l'amélioration du stress, pour cette raison nous avons étudiés les paramètres morpho-physiologiques (Biomasse, et pigments chlorophyllien) et biochimiques (MDA, H_2O_2, protéines, CAT, APX, GST, polyphénols, flavonoïdes, proline et GSH). Les résultats obtenus montrent qu'il Ya une diminution significatives dans la croissance, la teneur en chlorophylle lors de l'application individuelle de LAZ et AGR. L'application combinée des pesticides encore diminué la croissance des plantules, indique leur effet synergique. Cependant l'ajout externe du silicium a amélioré la croissance et la teneur en chlorophylle. Nos résultats montrent une augmentation des teneurs de MDA et une activation de système antioxydant lors de l'application individuelle de (LAZ) et (AGR). L'application combinée des pesticides encore augmente la production des enzymes et métabolites antioxydants. L'addition du silicium a diminué l'effet du stress. Les résultats de l'étude aideraient à comprendre les problèmes environnementaux posés par les pesticides, à souligner la nécessité d'évaluer les sols et les produits agricoles pour leurs résidus de pesticides et que le silicium a un rôle très important dans l'amélioration de la tolérance des tomates exposé aux pesticides.

Mots clés : Silicium, *Solanum lycopersicon*, Pesticides, LAZER, AGRIM 25, Stress oxydatif, Métabolites antioxydants, Enzymes antioxydants.

ABSTRACT:

The deleterious effects of pollutants (pesticides) on human, animal and plant life and even on our climate are well known. The aim of this work is to determine the possible phytotoxic effects of LAZER (LAZ) and/or AGRIM 25 (AGR) on a non-targeted and economically important crop, the tomato (solanum lycopersicon) and the role of silicon in improving the stress, for this reason we studied the morpho-physiological (Biomass, and chlorophyll pigments) and biochemical (MDA, H_2O_2, proteins, CAT, APX, GST, polyphenols, flavonoids, proline and GSH) parameters. the results obtained show that there is a significant decrease in the growth, the chlorophyll content during the individual application of LAZ and AGR. Combined application of pesticides further decreased seedling growth, indicating theirs ynergistic effect. However, external addition of silicon improved growth and chlorophyll contents. Our results show an increase in the levels of MDA and an activation of the antioxidant system during the individual application of (LAZ) and (AGR). The combined application of pesticides further increases the production of enzymes and antioxidant metabolites. The addition of silicon reduced the effect of stress. The results of the study would help to understand the environmental problems posed by pesticides, underline the need to assess soils and agricultural products for their pesticide residues and that silicon has a very important role in improving the tolerance of tomatoes exposed to pesticides.

Keywords: Silicon, *Solanum lycopersicon*, Pesticides, LAZER, AGRIM 25, Oxidative stress, Antioxidant metabolites, Antioxidant enzymes.

ملخص:

إن الآثار الضارة للملوثات (مبيدات الآفات) على حياة الإنسان والحيوان والنبات وحتى المناخ غير معروف جيدًا. الهدف من هذا العمل هو تحديد التأثيرات السمية النباتية المحتملة لـ LAZER (LAZ) و / أو AGRIM 25 (AGR) على محصول غير مستهدف ومهم اقتصاديًا ، والطماطم (solanum lycopersicon) ودور السيليكون في تحسين الإجهاد ، لهذا السبب غربي الدراسة المعلمات المورفولوجية الفسيولوجية (أصباغ الكتلة الحيوية والكلوروفيل) والكيمياء الحيوية MDA) ، H2O2 ، البروتينات ، CAT، APX، GST، البوليفينول ، الفلافونويد ، البرولين و .(GSH أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن هناك انخفاض كبير في النمو ومحتوى الكلوروفيل أثناء التطبيق الفردي لـ LAZ و .AGR الاستخدام المشترك لمبيدات الآفات مزيد من تناقص نمو البذور، مما يشير إلى تأثير التكاثر. ومع ذلك ، فإن الإضافة الخارجية لمحتويات السيليكون المحسنة النمو والكلوروفيل. تظهر نتائجنا زيادة في مستويات MDA وتفعيل نظام مضادات الأكسدة أثناء الاستخدام الفردي لـ (LAZ) و .(AGR) يؤدي الاستخدام المشترك لمبيدات الآفات إلى زيادة إنتاج الإنزيمات ومستقلبات مضادات الأكسدة. تقلل إضافة السيليكون من تأثير الإجهاد. ستساعد نتائج الدراسة على فهم المشكلة البيئية التي تسببها مبيدات الآفات ، والتأكيد على الحاجة إلى تقييم التربة والمنتجات الزراعية لمخلفات مبيدات الآفات ، وأن السيليكون له دور مهم للغاية في تحسين تحمل الطماطم المعرضة لمبيدات الآفات .

الكلمات المفتاحية :

السيليكون , *الطماطم*، مبيدات الآفات ، LAZER، AGRIM 25 ، الإجهاد التأكسدي ، مستقلبات مضادات الأكسدة ، إنزيمات مضادات الأكسدة.

Liste des tableaux :

Tableau 1:Les principaux catégories de silicones (El ahouel, A. 2020).....6
Tableau 2: Classification botanique de la tomate.....25
Tableau 3: Caractéristique des deux pesticides utilisés LAZ et AGR (Index phytosanitaire 2017).....32
Tableau 4: La composition du milieu nutritif (macro et micro nutriments). 34
Tableau 5: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du Si sur la longueur des pousses et des racines dans les tissus foliaires de tomate. 41
Tableau 6: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur la longueur des pousses et des racines dans les tissus foliaires de tomate. 42

Liste des figures :

Figure 1: Mécanismes proposés expliquant la réduction significative de l'ion sodium (Na+) dans les parties aériennes lors de la supplémentation en silicium (Si) (Dhiman, P. et al 2021). 9
Figure 2: Effets toxicologiques des pesticides sur les organismes vivants (Bilal, M, 2019)..... 18
Figure 3: la toxicité chez les plantes (Zhang, J. J., & Yang, H, 2021). 21
Figure 4: Photographie d'un fruit de tomate à maturité (Vincent Truffault 2015). 25
Figure 5: Symptômes de T. absoluta sur fruits de tomate (Mahdjouba, B, 2018). 30
Figure6: insecticide LAMB-DA-CYPHA. 33
Figure 7: Fongicide DIFENOCO-NAZOLE. 33
Figure 8:La plantation des tomates sous-sol. 33
Figure 9: Les plantules de tomates sous stress. 35
Figure 10: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs en pigments dans les tissus foliaires de tomates (originale). 42
Figure 11: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs en Hydrogène peroxyde (H2O2) dans les tissus foliaires de tomate (originale). 43
Figure 12: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Malondialdehyde (MDA) dans les tissus foliaires de tomates (originale). 44
Figure 13: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Catalase (CAT) dans les tissus foliaires de tomates (originale). 45
Figure 14: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Ascorbate peroxydase (APX) dans les tissus foliaires de tomates (originale). 45
Figure 15: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Glutathion-S-transférase (GST) dans les tissus foliaires de tomate (originale). 46
Figure 16: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Polyphénols dans les tissus foliaires de tomates (originale). 46
Figure 17: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs flavonoïdes dans les tissus foliaires de tomate (originale). 47
Figure 18: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Glutathion (GSH) dans les tissus foliaires de tomate (originale). 48
Figure 19: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs proline dans les tissus foliaires de tomate (originale). 48

Liste des abréviations :

Si: silicium

UV: ultra-violet

GR: glutathion réductase

MDA: malondialdéhyde

APX: Ascorbate peroxydase

GST: Glutathion-S-transférase

POX: peroxydase

SOD: superoxyde dismutase

MA : matière active

MO : matière organique

DL 50 : dose létale

CE50 : concentration efficace

CL50 : concentration létale

DDT: Dichlorodiphényltrichloroéthane

ERO: élément réactif d'oxygène

BR :brassinostéroides

SA : Acide salicylique

JA : acide jasmonique

LAZ : lazer

AGR : agrim 25

TCA : Acide trichloroacétique

H_2O_2 : Peroxyde d'hydrogène

TBA : thiobarbiturique

CDNB : chloro dinitrobenzène

$ALCL_3$: chlorure d'aluminium

GSH: glutathion

MF: matière fraiche

AsA: ascorbate

CAT: catalase

O_2^- : radicale super oxyde

Cd : cadmium

Zn: zinc

Pb: plomb

Table des matières :

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Partie 01 : Le silicium

Introduction……01

1 Définition :.....5
1.1 Position de silicium dans le règne végétal 5
1.2 Les différents types de silicium :.....5
2 Occurrence, absorption et transport de silicium :.....6
3 Le silicium et le stress abiotique :.....7
3.1 Mécanismes de désintoxication des métaux médiés par le silicium :.....7
3.1.1 Immobilisation médiée par le si du métal toxique dans le sol :.....7
3.1.2 Stimulation du système de défense antioxydant :.....8
3.1.3 Compartimentation au sein des plantes :.....8
3.2 Stress salin :.....9
4 Le silicium et le stress biotique :.....10

Partie02: Les pesticides

1 Définition et composition des pesticides :.....13
2 Histoire des pesticides :.....14
3 Classification des pesticides :.....14
3.1 Classification chimique :.....14
3.1.1 Les pesticides inorganiques :.....14
3.1.2 Les pesticides organométalliques :.....14
3.1.3 Les pesticides organiques :.....15
3.2 Classification biologique :.....15
3.3 Classification selon usage :.....15
3.4 Classification selon risque toxicologique :.....15
4 Devenir des pesticides dans l'environnement:.....15
4.1 Dans l'air:.....16
4.1.1 Le Transport:.....16
4.1.2 La photodégradation:.....16
4.2 Dans le sol:.....16
4.2.1 Phénomène de rétention :.....16
4.2.1.1 Rétention biologique:.....17
4.2.1.1.1 Absorption par les plantes :.....**17**
4.2.1.2 Rétention physico-chimique :.....17
4.2.1.2.1 L'absorption :.....**17**
5 L'écotoxicité des pesticides :.....17
5.1 Sur l'homme :.....17

5.2 Sur les animaux : 18
5.2.1 Bioaccumulation : 18
5.3 Sur les plantes : 19
6 La réponse des plantes aux stress : 19
7 Les stratégies adoptées pour diminuer les effets des pesticides : 21
7.1 Amélioration de la toxicité des pesticides par les phytohormones : 22
7.1.1 Brassinostéroïdes: 22
7.1.2 Acide salicylique : 22
7.1.3 Acide jasmonique: 22
7.2 Amélioration de la toxicité des pesticides par les nanoparticules : 22

Partie03: La tomate

1 Présentation de plante de tomate : 24
2 Description botanique : 24
2.1 Le fruit : 24
3 Classification botanique : 25
4 L'importance économique de la culture de tomate: 26
4.1 Dans le monde : 26
4.2 En Algérie : 26
5 Les principaux maladies et ravageurs de tomates : 26
5.1 Les nématodes: 26
5.2 Les insectes: 26
5.2.1 La mineuse de la tomate (tuta absoluta): 27
5.2.2 Les mouches blanches (Bemiscia tabaci): 27
5.2.3 Les pucerons (aphidae): 27
5.2.4 Les thrips (thripidae): 27
5.2.5 Les papillons et les noctuelles (lépidoptera): 27
5.2.6 Les cicadelles de pomme de terre (cicadellidae: Empoasca fabae): 28
5.2.7 Les acariens (*Tetranychus* spp) : 28
5.3 Les maladies : 28
5.3.1 Les bactéries: 28
5.3.1.1 Le flétrissement bactérien (Ralstonia solanacearum): 28
5.3.1.2 Le feu bactérien : 28
5.3.1.3 Le chancre bactérien (Clavibacter michiganense): 28
5.3.2 Les virus : 29
5.3.3 Le mildiou (Phytophtora infestans): 29
5.3.4 La fusariose: 29
5.3.5 Verticilliose: 29
5.3.6 L'oïdium: 29
5.3.7 L'anthracnose: 30

Chapitre II: Matériel et méthodes

1 L'objectif : 32
2 Le matériel biologique : 32
3 Le matériel chimique : 32
4 La préparation du sol 33
5 L'application de stress : 34
6 Analyses morphologiques : 35
6.1 La longueur des racines et de partie aérienne : 35
6.2 Détermination de la biomasse : 35
7 Analyses physiologiques : 35
7.1 Dosage des pigments chlorophylle : 35
8 Analyses biochimiques : 36
8.1 Biomarqueurs de stress : 36
8.1.1 Extraction : 36
8.1.2 Peroxyde d'hydrogène H_2O_2 : 36
8.1.3 Malondialdehyde (MDA) : 36
8.2 Enzymes Antioxydants : 36
8.2.1 Extraction : 36
8.2.2 Dosage des protéines : 36
8.2.3 Dosage de catalase (CAT) : 37
8.2.4 Dosage d'ascorbate peroxydase (APX): 37
8.2.5 Dosage de Glutathion-S-transférase (GST): 37
8.3 Métabolites antioxydants: 37
8.3.1 Totale phénolique: 37
8.3.2 Flavonoïdes : 37
8.3.3 Glutathion (GSH) : 37
8.3.4 Proline : 38
9 Analyses statistiques : 38

Chapitre III: Résultats

1 Effet de LAZ et/ou AGR sur les paramètres de croissance : 41
1.1 Longueurs des pousses et des racines : 41
1.2 Biomasse : 41
2 Effet d'AZR et/ou AGR sur la teneur en pigments : 42
3 Effet de LAZ, AGR et leur combinaison sur les biomarqueurs de stress oxydatif : 42
3.1 Hydrogène peroxyde (H_2O_2): 42
3.2 Malondialdehyde (MDA): 43
4 Enzymes antioxydants: 44
4.1 Total protéine: 44
4.2 Catalase (CAT): 44

4.3 Ascorbate peroxydase (APX) :.....45
4.4 Glutathion-S-transférase (GST) : 45
5 Effet de LAZ et/ou AGR sur les teneurs en Métabolites antioxydants : 46
5.1 Polyphénols :.....46
5.2 Flavonoïdes : 46
5.3 Glutathion (GSH): 47
5.4 Proline:.....48
Discussion……50
Conclusion et perspectives……...56
Références bibliographiques……57

Introduction générale

Introduction générale :

L'apparition continu des maladies et pathogènes chez les plantes nécessite l'utilisation des pesticides pour protéger les cultures agricoles et minimisé les dégâts apparus, mais le souci que les agriculteurs parfois ne respectent pas les doses homologuées, cela pose un problème de la phytotoxicité ou résulte ce qu'on appelle un stress, ce dernier: c'est l'environnement ou les conditions défavorables à la survie des plantes.

Les pesticides ont des effets indésirables sur le développement et la croissance des cultures notamment les cultures maraichères comme la tomate. La production mondiale en tomate a atteint, en 2008, près de 130 millions de tonnes. La Chine se classe en premier avec une production de 33,8 millions de tonnes, suivie par les USA, avec un total produit de 12,6 millions de tonnes. A l'échelle de l'Europe, c'est laTurquie qui arrive au premier rang avec une production proche de 14 millions de tonnes. Ensuite, vient l'Italie (6 à 7 millions de tonnes), puis l'Espagne, la Grèce (1 à 2 millions detonnes), et enfin, la Hollande avec une production annuelle de 750000 tonnes (Snoussi, 2010).

Les tomates font parties des fruits qui contiennent des taux plus élevés des résidus des pesticides, à cet effet, l'utilisation des produits phytosanitaires et les engrais cause un stress oxydative caractérisé par la production excessives des espèces réactive d'oxygène (ERO)qui vas perturber les membranes et les organites des cellules des plantes. La plante répond en renforçant le système de défense.

Il y a divers stratégies de prévention de la toxicité des pesticides, telle que les l'application exogène de phytohormones qui inclus: les brassinostéroides (BR); les acides salicyliques (SA); les acides jasmoniques (JA), les nanoparticules et le silicium (si). Il a été démontré que l'application de Silicium a rôle bénéfique sur l'amélioration des stress biotique et abiotique.

Quelles sont les bienfaits du Si et quel est son rôle dans l'élimination du stress et comment la plante y réagit face au stress ?

Le silicium facilite le processus d'absorption, la réparation des barrières perturbées par les biomarqueures de stress, notre objectif d'après le présent travail est d'étudier et connaitre l'effet du silicium sur le stress des pesticides chez la culture de la tomate.

Notre travail est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre, présente une synthèse bibliographique sur le silicium, les pesticides et la tomate. Le deuxième chapitre traite le matériel et méthodes utilisées pour notre expérimentation. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et la discussion.

Chapitre I :

Synthèse Bibliographique.

Partie 01: Le silicium

1 Définition :

C'est le deuxième élément le plus abondant, il est généralement été considéré comme un élément bénéfique mais non essentiel dans les plantes, en fonction de l'accumulation dans leur tournage, les espèces végétales ont été classés comme accumulateurs de silicium ou comme intermédiaires, en générale les monocotylédones accumuler plus de silicium par rapport les dicotylédones, Les plantes n'absorbent le silicium, si que sous forme d'acide silicique si(OH_4),et d'une espèce à autre son contenu peut varier de 0,1% à10% du poids sec.

Le processus complexe d'absorption et de transport du silicium s'effectue par des transporteurs si-influx et efflux appartenant à la noduline, les engrais si ont été démontré de manière convaincante pour améliorer la croissance de plusieurs espèces cultivées, et les effets bénéfiques de silicium sont clairement observées sous divers stress environnementaux (Ahanger, M. A et al 2020)

1.1 Position de silicium dans le règne végétal

Dans le règne végétal, le silicium est reconnu comme un élément nutritif essentiel à 2 groupes seulement qui comprennent les diatomées et quelques autres membres des algues (Souri, Z 2020).

Le silicium a été classé comme nutriment minéral non essentiel en raison du manque de preuves démontrant son implication dans le métabolisme des plantes (Dhiman, P. et al 2021)

De plus, le silicium ne remplit pas les critères d'essentialité posés par Arnon et Stout (Arnon et Stout, 1939 ; Epstein, 1994). Cependant, il est maintenant qualifié de bénéfique ou «quasi essentiel» élément en raison de centaines de preuves convaincantes montrant bénéfique effets sur les plantes, en particulier dans des conditions de stress abiotiques. Le silicium, le deuxième élément le plus abondant dans le sol après l'oxygène, représente 60 à 70 % de la masse du sol sous forme de SiO_2. En raison de l'omniprésence abondante de Si, ses symptômes de carence sont très difficiles étudier. Cela pourrait être l'une des raisons de l'ignorance de Si dans l'alimentation des plantes. De nombreuses études ont révélé que la privation de silicium provoque anomalies de croissance, donc considérées comme bénéfiques pour de nombreuses plantes (Dhiman, P. et al 2021).

1.2 Les différents types de silicium :

À partir du squelette polydiméthylsiloxane, il est possible de créer de nouvelles structures qui présentent des caractéristiques parfois radicalement différentes et apportent en

conséquence aux produits de beauté des bénéfices distincts. Le changement de degré de polymérisation, la création d'un réseau tridimensionnel ou bien l'ajout de groupements organiques sont les principaux leviers utilisés pour générer les catégories de silicones décrites dans le tableau ci-après : (El ahouel, A. 2020)

Tableau 1:Les principaux catégories de silicones (El ahouel, A. 2020)

Types de Silicones	**Description**	**Dénomination (**INCI)
Volatiles	Siloxanes cycliques ou linéaires de faible poids moléculaire	CyclomethiconeCyclopentasiloxaneCyclohexasiloxaneTrisiloxaneDimethicone
Fluides	Siloxanes linéaires (avec ou sans fonctionalités)	DimethiconeDimethiconecopolyolAminodimethicone
Gommes	Siloxanes de haut poids moléculaire	Dimethicone Dimethiconol
Élastomères	Réseausiloxanelégèrementréticulé	Dimethiconecrosspolymer Vinyl dimethicone Crosspolymer

2 Occurrence, absorption et transport de silicium :

Dans les sols le si se trouve sous forme de silicates et d'oxydes et rarement dans forme libre (Dhiman, P. et al 2021). La dissolution du si des minéraux du sol est un processus lent, et l'utilisation inappropriée d'engrais et la monoculture continue de cultures ont grandement réduit la quantité de si pouvant être absorbée par les plantes entrainant une carence en acide orthosilicique dans les sols (Zhu, Y. X. et al 2019).

Les plantes absorbent le si de solution du sol sous forme d'acide silicique monomère chargé (acide monosilicique) si(OH_4) à des niveaux de ph inférieurs à 9 il est transporté à la pousse par le flux de transpiration à travers le xylème et déposés dans les feuilles sous forme de phytolithes (corps de silice solide) qui se trouve à l'intérieur et entre les cellules épidermiques, la différence dans la capacité des racines a absorbé, si est considéré comme la principale raison des différences dans son accumulation entre différentes espèces,monocotylédones comme le riz, mais, et d'autres céréales absorbent de plus grandes quantités de si que les dicotylédones,généralement lycopsida,bryophyta et equisetopsids accumulent des grandes quantités de si alors que filicopsida gymnospermae et la plupart des

angiospermes accumulent des quantités inférieurs, les solanacées (tomates)sont des espèces si-exclusives.

3 Le silicium et le stress abiotique :

Dans les systèmes agricoles les plantes sont exposés à de nombreux facteurs de stresses, limitant leur croissance et leurs productivité (Alzahrani, Y.et al 2018).

Le silicium est principalement impliqué dans l'induction d'un potentiel de résistance de plantes contre une pléthore de stress environnementaux, Amélioration régulée par Si de différents stress abiotiques, à savoir, stress salin, haute et basse température stress, toxicité des métaux, stress de sécheresse et d'inondation, excès nutriments et rayonnements UV, respectivement. La niche des zones humides est très bien rapportée en termes de stimulation efficace pour défier la pression de l'eau et permettre aux racines de rester attaché aux particules de sol. Cependant, le rôle le plus important de Si est sa capacité à combattre tolérance à plusieurs stress (Souri, Z. 2020)

Le silicium atténue les contraintes causées par les basses températures (75, 91), les rayons ultraviolets B (UV-B) (158) et les carences en nutriments (106,115). Dans les plants de concombre cultivés à des températures froides (15/8◦C), le silicium exogène a diminué flétrissement des feuilles, concentrations d'O_2^-, H_2O_2 et MDA par augmentation de l'APX, du GR et du glutathion peroxydase, monodéhydroascorbate réductase, activités POX et SOD et les concentrations de AsA et GSH (75). Il a joué un rôle dans la limitation de l'accumulation de MDA et des dommages aux membranes lipidiques. (Debona, D.et al 2017).

De nombreux mécanismes potentiels par lesquels le silicium peut stimuler la résistance des plantes aux facteurs de stress environnementaux, le silicium a un effet bénéfique sur la croissance et la tolérance a la salinité (Alzahrani, Y.et al 2018).

3.1 Mécanismes de désintoxication des métaux médiés par le silicium :

Plusieurs mécanismes expliquant les avantages dérivés du si vers la détoxification des métaux ont été proposés.

3.1.1 Immobilisation médiée par le si du métal toxique dans le sol :

c’est le mécanisme le plus simple pour expliquer les avantages dérivés du si, l’immobilisation a eu lieu soit en raison de l’augmentation du ph du sol, soit en raison de la modification de la spéciation des métaux dans le sol, dans le riz, application d’amendements riche en si vas augmenter le ph du sol de 4 à 5 et a diminué la phyto-disponibilité des métaux

lourds d'au moins 60% ce qui réduit l'absorption des métaux, si aide en changeant la spéciation des métaux de la forme toxique a la forme non toxique par la formation de complexe de silicate dans la solution du sol, shim et coll ont observé la mobilité réduite des métaux dans les sols contaminés au Pb par l'application de si (Bhat, J. A. et al 2019).

3.1.2 Stimulation du système de défense antioxydant :

le stress des métaux lourds induit une formation excessives d'espèces réactives d'oxygène (ERO),ce qui entraine dans plusieurs désordres métaboliques chez plantes cultivées, le système antioxydant stimulé par si aide à réduire le stress oxydatif en réduisant la production d'ERO, chez les plantes sous stress cd, Zn, Pb substances réactives à l'acide thiobarbiturique(TBARS),un marqueur largement utilisé pour la teneur en oxygène réactif ,se sont avérés réduits de manières significatives avec si supplémentation dans des plantes de riz et mais cultivés sous condition de stress Cd, enzyme antioxydant améliorée activités ainsi que les activités des antioxydants enzymatique comme l'acide ascorbique ont été signalés dans plusieurs espèces végétales soumises à un stress de métaux lourds, médiation si une détoxification par la stimulation d'antioxydants enzymatiques a été aussi observées sous contrainte Pb, Mn, Zn, Cu (Bhat, J. A. et al 2019).

3.1.3 Compartimentation au sein des plantes :

Une compartimentation améliorée des éléments métalliques dans les tissus végétaux a été observé avec si williams et vlanis ont observé pour la première fois que l'effet de si dans la réduction de la toxicité du Mn dans l'orge n'était pas le résultat d'une réduction de la concentration de Mn, mais plutôt d'une meilleure compartimentation dans les tissus foliaires ,un autre niveau de compartimentation principalement régulée par l'activité de translocation conduisant à l'augmentation en métal dans les racines des plantes par rapport aux pousses a été rapportée avec la supplémentation en si, on a observé que le traitement réduisait le transport de Zn des racines aux pousses et augmentait la liaison de Zn a la paroi cellulaire diminuant ainsi la concentration de Zn dans les pousses de riz, dans le blé le si réduire la translocation du cd de la racine aux pousses et aux graines, le si a été observé également pour augmenter la localisation de Mn dans la paroi cellulaire chez le concombre et le niébé sous le stress Mn et chez le riz sous Zn contrainte ,la détoxification médiée par si des métaux lourds grâce à leur compartimentation dans différentes plantes, les tissus pourraient être un mécanisme clé soutenant le rôle bénéfique de si.(Bhat, J. A. et al 2019).

3.2 Stress salin :

La salinisation des sols est le type le plus courant d'abiotique stress qui règne dans l'environnement. Environ 20 à 30 % des terres agricoles ont été dévastées en raison de la salinité. Sols salins entravent généralement la croissance des plantes en générant une cytotoxicité ionique et en perturbant le cycle des nutriments et l'explosion oxydative dans les cellules végétales. Cependant, Si a été observé pour atténuer la salinité dans une variété de plantes cultivées telles que comme le blé, le riz, l'orge, le maïs, le soja, le concombre et la tomate. Par exemple, Si a été signalé à diminuer le niveau d'ions sodium dans les plantes pendant toxicité saline par différents moyens. Tout d'abord, il peut modifier la perméabilité des membranes des cellules racinaires pour récupérer la stabilité structurelle des cellules racinaires (Souri, Z. 2020).

Deuxièmement, il peut médier le fonctionnement de la pompe H+-ATP ases située sur membrane plasma. Et troisièmement, il peut faciliter le sodium transport des ions hors des cellules. De plus, la supplémentation exogène en Si a favorisé les attributs d'échange gazeux dans diverses plantes sous stress de salinité (Souri, Z. 2020).

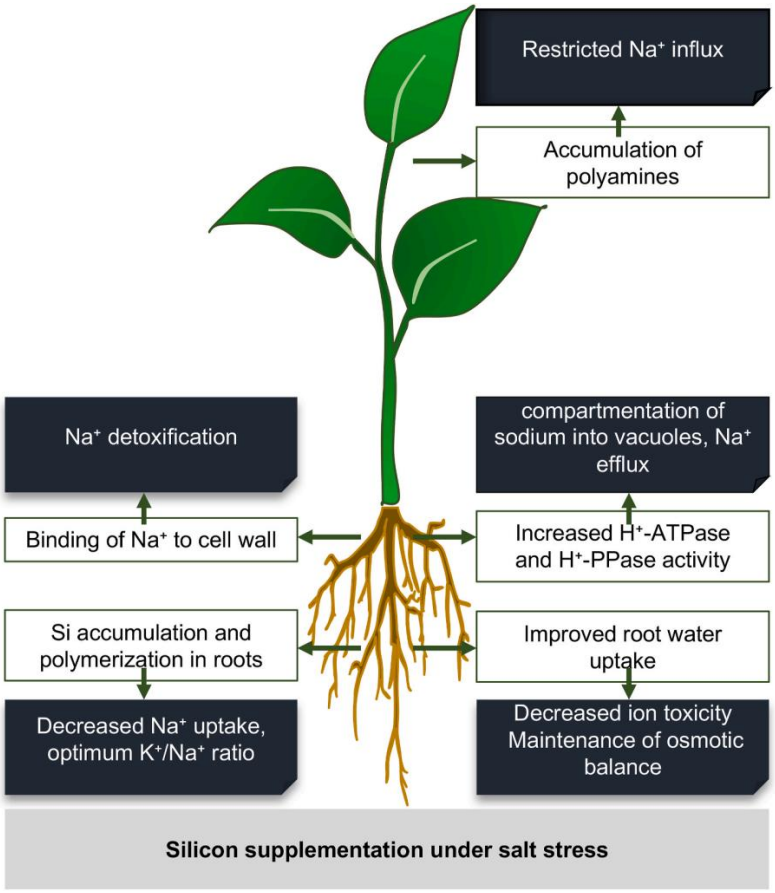


Figure 1: Mécanismes proposés expliquant la réduction significative de l'ion sodium (Na+) dans les parties aériennes lors de la supplémentation en silicium (Si) (Dhiman, P. et al 2021).

4 Le silicium et le stress biotique :

Tout au long de leur vie, les plantes sont exposées à une multitude de stress qui modifient la croissance et le développement. Des organismes comme les champignons, les bactéries, les mycoplasmes, les incrustations, les nématodes, les mauvaises herbes et les plantes parasites induisent un stress biotique (Mundada, P. S et al 2021).

Les virus et viroïdes, bien que non vivants, contribuent également au stress biotique. Ces agents affectent la plante la croissance et le développement en privant les nutriments conduisant à une vigueur réduite des plantes et mort des plantes dans les cas extrêmes. La sévérité du stress biotique dépend des facteurs environnementaux, des systèmes de culture, des types de cultures, des cultivars et des niveaux de résistance des plantes. (Mundada, P. S et al 2021).

Les conditions chaudes et humides et les mauvaises pratiques de gestion des cultures sont les deux principales causes de stress biotiques. La reconnaissance précoce du stress biotique est la clé pour le contrôler via la lutte intégrée contre les ravageurs et l'utilisation de pesticides. Les plantes n'ont pas de système immunitaire adaptatif comme les vertébrés.

Ils ne peuvent ni s'adapter à de nouvelles maladies ni mémoriser les infections précédentes. Cependant, les plantes ont développé plusieurs mécanismes pour lutter contre les stress biotiques. Ils s'appuient sur diverses barrières physiques et chimiques qui leur confèrent force et rigidité pour survivre sous un stress biologique (Mundada, P. S et al 2021).

Partie 02 : Les pesticides

1 Définition et composition des pesticides :

Il Ya plusieurs nomination qui définir les produits phytosanitaires comme « produits antiparasitaires à usage agricoles, produits pour lutter contre les ennemis des cultures, produits de protection des plantes agro sanitaires, produits agro pharmaceutiques, produits phytopharmaceutiques », mais le terme le plus répandu c'est « les pesticides »(Domange, N, 2005). Un pesticide est une substance sensée prévenir, détruire, repousser ou contrôler :

- Tout ravageur animal
- Toute maladie causée par des microorganismes
- Les mauvaises herbes.

Leur action peut se faire par :

- Contact
- Ingestion

Autres sortes d'expositions effectives pendant les phases de croissance (Ayad-Mokhtari, N. 2012), Cependant, la formulation des pesticides ne se limite pas qu'aux les matières actives, elle se comprend :

- **Un solvant** : qui est un produit chimique qui dissoudre les matières actives et les rendu liquides
- **Un surfactant** : l'agent actif de surface leur fonction et d'augmenter l'émulsion et les propriétés humectantes des formulations liquides pour coller le pesticide aux parasites
- **Un adjuvant** : c'est un produit chimique ajouté aux pesticides pour en accroitre l'efficacité
- **Un vecteur** : qui est un solide inerte utilisé pour diluer la MA du pesticide
- **Des colories et des marqueurs olfactifs** : donne aux pesticides une mauvaise odeur et un gout désagréable pour minimisé les risques d'ingestion du produit par accident, et aussi les colorants pour faire la distinction entre les semences traitées et celle non traité (Bettiche, F, 2017).

Certains pesticides sont des composés naturels et certains d'entre eux sont synthétisé par l'homme, ils peuvent être divisés en herbicides, insecticides et fongicides parce que les pesticides peuvent garantir la sécurité de la production alimentaire (He, B, et al 2020).

2 Histoire des pesticides :

La lutte contre les organismes nuisibles aux cultures a été signalé une préoccupation de l'agriculteur, les moyens utilisés était de nature physique (ramassages des larves, destruction des plantes malades), l'utilisation des produits est malgré assez ancienne comme l'indique l'emploi de soufre cité par Homère et l'arsenic signalé par Pline l'ancin.

Au cours du XIX^{e} siècle, les produits chimiques apparaissent et prenant une grande importance à cause de développement des épidémies des productions agricoles, Ya deux périodes distinguées pour décrire la diffusion des pesticides : sont la 1ère et la 2ème moitié du XX^{e} siècle séparées par la deuxième guerre mondiale. Aujourd'hui il ya une pharmacopée importante offre une gamme variée de produit aux diverses activités pour répondre aux problèmes de protection des plantes (Fatima, N, 2014)

3 Classification des pesticides :

Les pesticides classés selon leur :

- Caractéristiques chimiques
- Leurs cibles
- Leurs usages (Calvet et al., 2005)
- Les risques toxicologiques qu'ils peuvent engendrent

3.1 Classification chimique :

3.1.1 Les pesticides inorganiques :

Sont peu nombreux, mais il Ya quelque éléments comme le soufre et le cuivre sont utilisé en très grande quantité, leur emploi apparu avec la naissance de la chimie organique de synthèse, l'essentiel de ces derniers c'est les fongicides à base de soufre et de cuivre, Ya aussi la bouille bordelaise qui est la plus employée pour traiter la vigne, arbres fruitiers, et d'autres cultures maraichères(Bettiche, F, 2017)

3.1.2 Les pesticides organométalliques :

Ce sont principalement des substances fongicides composé de complexe métallique avec le zinc et le manganèse et un anion organique dithiocarbamate. Lemancozèbe (avec le zinc) et le manèbe (avec le manganèse) sont des exemples emblématiques de ce type de pesticides (Bettiche, F, 2017).

3.1.3 Les pesticides organiques :

Les pesticides organiques appartiennent à 80 familles (classe ou groupe)chimique, chaque famille se caractérisé par un ensemble de molécules dérivées d'un groupe d'atomes qui constituent une structure de base, les appellations peuvent être différentes d'un ouvrage à autre, le nombre de substances appartenant à une famille donné est variable (Bettiche, F, 2017).

3.2 Classification biologique :

Cette classification basé sur les organismes vivants ciblés, les principales catégories de pesticides sont les insecticides-acaricides les fongicides et les herbicides Il y a aussi les rodenticides, les molluscicides, les nématicides, les régulateurs de croissance des plantes et d'autres (Aktar, Sengupta, &Chowdhury, 2009).

3.3 Classification selon usage :

Ce sont les substances les plus nombreuses, sous les termes d'insecticides-acaricide, de fongicides et d'herbicides. Par ailleurs, les pesticides sont utilisés dans la protection des bâtiments d'élevage, le traitement des locaux de stockage des produits végétaux, le traitement des zones non agricoles, le traitement des bâtiments d'habitation et le traitement des hommes et des animaux **(**Bettiche, F, 2017**).**

3.4 Classification selon risque toxicologique :

Les pesticides sont connus pour provoquer leur effets néfastes en imitant ou antagonisant les hormones naturelles dans le corps, l'exposition à faible dose et à long terme et liée à des effets sur la santé humaines(l'immunosuppression, les perturbations hormonales, l'intelligence diminuée, et des anomalies de la reproduction et le cancer) (Brouwer et al., 1999; Crisp et al., 1998; in Aktar et al., 2009)(Bettiche, F, 2017).

4 Devenir des pesticides dans l'environnement:

Le taux de pollution de l'environnement augmente à cause des activités anthropiques. Au cours de la dernière décennie, une quantité massive de pesticides et d'autres polluants ont été rejetés dans l'atmosphère en raison du développement agricole et industriel (Morillo et Villaverde, 2017 ; Varjani et al, 2018). L'utilisation excessive de pesticides dans les pratiques agricoles modernes a entraîné la contamination de différentes matrices environnementales, y compris l'air, la terre et l'eau.

Par conséquent, les matrices environnementales contaminées affectent négativement la

santé humaine et les animaux non ciblés de plusieurs manières (Liu et al, 2019). Des traces de ces composés toxiques peuvent pénétrer dans les rivières, les eaux de surface et les eaux souterraines par lessivage du sol, ruissellement de surface, ruissellement souterrain et fuite accidentelle (Liao et al, 2017 ; Liu et al, 2019 ; Bilal, M, 2019).

4.1 Dans l'air:

Les pesticides dans l'air peuvent être transportés, dégradés, ou déposés sur le sol.

4.1.1 Le Transport:

On voie chaque année des phénomènes de transport dans l'air des pesticides épandus depuis les zones agricoles vers les zones plus éloignées comme les zones urbaines des pesticides organochlorées par exemple sont sujet à un long transport atmosphérique affectant aussi les zones éloignées dans l'atmosphère pour une vitesse de vent typique de 3 à 5 m.s les pesticides peuvent parcourir une distance de 250 à 500 km par jour (Lamprea-Maldonado, 2009).

4.1.2 La photodégradation:

C'est les processus de photolyse et de phototransformation. Les premiers millimètres superficiel de sol ou à la surface des végétaux, les pesticides peuvent être dégradé sous l'effet de lumière, la photolyse peut- être direct ou indirect selon que c'est l'énergie absorbée qui entraîne une transformation directe de la molécule ou l'énergie absorbée par les constituants du milieu (eau, sol) (Baran & Barras, 2008).

La cinétique de photodégradation ou de photolyse peut s'exprimer sous forme de demi-vie mais il est préférable de la représenter par le rendement quantique de la photodégradation. (Andral, B, 1996).

4.2 Dans le sol:

La répartition des produits phytosanitaires dans le sol se déroule selon 3 phases :(aqueuse, particulaire, gazeuse), ils sont mobiles et transporté par l'eau, le transport, la persistance, et la dégradation des pesticides dans le sol dépendent des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (Andral, B, 1996).

4.2.1 Phénomène de rétention :

La rétention d'une substance dans le sol ou dans un sédiment dépend des propriétés de la substance et la composition de support, notamment de son contenu en MO (Andral, B, 1996).

4.2.1.1 Rétention biologique:

4.2.1.1.1 Absorption par les plantes :

Les produits phytosanitaires peuvent être absorbés par les plantes, une partie ne vas pas métaboliser, et à la mort du végétale il se restitué au milieu (métabolisé à nouveau), une dégradation peut déroule dans la plante et crée des produits moins toxiques (Baran and Barras, 2008).

4.2.1.2 Rétention physico-chimique :

4.2.1.2.1 L'absorption :

Les pesticides liées à la MO du sol ou aux particules d'argiles sont moins mobiles, moins actifs, et moins exposé à la dégradation microbienne, veut dire plus persistantes.

L'absorption rapide se produit peu de temps après l'application des phytosanitaires, avec le temps l'absorption plus lente, il a été observé par l'utilisation des molécules marquées radioactives que la répétition d'application peut augmenter l'absorption et la formation des résidus (Andral, B, 1996).

5 L'écotoxicité des pesticides :

5.1 Sur l'homme :

Les pesticides sont considérés comme des facteurs de risques pour la santé chez l'homme. plusieurs études épidémiologiques montrent qu'Ilya une association entre l'exposition professionnelle aux pesticides et l'apparition de pathologies graves comme certains cancers, maladies neurodégénératives et métaboliques, un excès de risque de développer un cancer de la prostate, un hymphome myélome ou une leucémie chez les agriculteurs, une augmentation du risque de développement des tumeurs cérébrales chez les utilisateurs professionnels de pesticides, a été confortée par les résultats issus de la cahorte française d'agriculteurs (AGRICAN),des données montrent qu'il Ya un risque supérieur à 50% pour les populations exposés aux pesticides, l'exposition aux pesticides provoques des atteintes de la fertilité masculine ou des impacts sur les taux d'hormones thyroidiennes.il ya aussi un risque de diabète de type 2 (Gamet-Payrastre, L, 2019)

L'exposition aux pesticides n'affecterait pas seulement l'utilisateur mais peuvent aussi touche les descendants, il existe une présomption forte d'un lien entre l'exposition parentale et l'apparition de leucémies, de tumeurs cérébrales, de malformation congénitales et de mort fœtale dans la descendance.

Autrement, l'exposition résidentielle aux pesticides (l'utilisation des insecticides dans les maisons pour traiter les animaux) peut augmenter l'incidence de certaines pathologies chez les enfants comme les tumeurs du cerveau, les leucémies, des troubles neurodéveloppementaux, une baisse du poids des enfants à la naissance et un surpoids des enfants à l'Age de 7ans (**Figure 2**).

L'alimentation c'est la seule moyens qui livrer les pesticides aux consommateurs, plusieurs rapports de l'autorité européenne de sécurité sanitaire des aliments montrent que des faibles doses de pesticides dans plusieurs denrées alimentaires (fruits et légumes), les risques observés après l'utilisation des pesticides professionnelle ou résidentielle des pesticides ne sont pas applicables des consommateurs parce que les voies et les doses d'exposition sont différentes (Gamet-Payrastre, L, 2019).

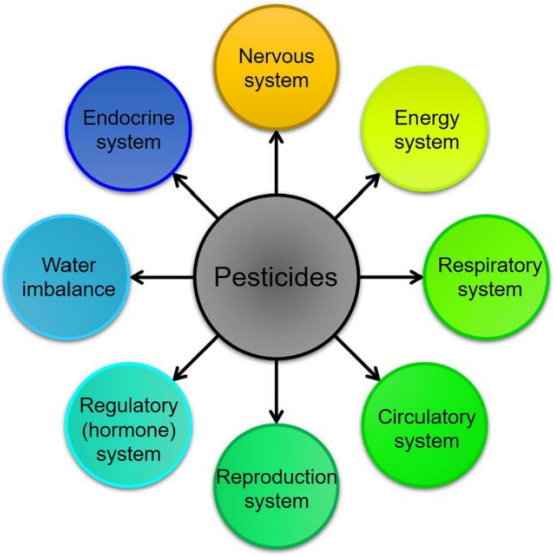


Figure 2: Effets toxicologiques des pesticides sur les organismes vivants (Bilal, M, 2019)

5.2 Sur les animaux :

5.2.1 Bioaccumulation :

La bioaccumulation c'est l'élevation de la concentration en contaminant dans li tissus des organismes lorsqu'on s'élevé dans le réseau trophique, les organismes accumulent les xénobiotiques à partir de l'eau à travers les branchés et le tissus épithéliale (bioconcentration) et à partir de nourriture (biomagnification).

Outre les caractéristiques physico-chimiques de la substance le processus de bioaccumulation peut conduire à de graves déséquilibres biologiques avec la disparition de communautés les plus élevées dans la chaine trophique (Andral, B, 1996).

5.3 Sur les plantes :

L'action des produits pesticides peut s'avérer forte importance et prolongé par leur répercussions biochimiques, provoque des modifications de sensibilités aux attaques des maladies surtout la pourriture , donc il est bien connu que tous les produits phytosanitaires soit organiques ou minérales fongicide ou insecticides, pénètre dans les tissus et participe à la physiologie de la plante, plusieurs études montrent que le cuivre absorbé par la cuticule de la feuille et diffusé dans les tissus et comme tout produits organiques, ils sont plus que les produits minéraux capable de pénètre dans la plante et retentir sur ses processus physiologiques par l'intermédiaire de leur action sur le fonctionnement des enzymes, ils peut résulter soit une stimulation soit une inhibition de synthèse des protéines par exemple (le DDT augmente le taux d'azote totale et protéiques dans les tissus foliaires et diminue le taux des glucides), les autres insecticides ont les mêmes effets, ils résultent l'augmentation de sensibilité de quelque plantes à certains champignons (RIBEREAU-GAYON, J. 1970).

Les pesticides vont pénétrer dans les tissus végétaux de manière différente, les composées hydrophobes vont passer directement dans les cellules par diffusion passive ou active via les flux d'eau et être transporté dans le xylème ou le phloème et emprunter les systèmes de transport cellulaires (Ferfar, M, 2017).

6 La réponse des plantes aux stress :

Pour faire face au stress abiotique, les plantes développent diverses réponses physiologiques et biochimiques en utilisant des voies de signalisation hormono-dépendantes (Dashevskaya et al, 2013).

Les niveaux de phytohormone changent rapidement chez les plantes exposées à divers facteurs de stress pour répondre au stress (Doganlar, 2012).

Les brassinostéroïdes (BRs), l'acide salicylique (SA), l'acide jasmonique (JA) sont les phytohormones importantes, agit comme molécule signal dans les plantes et sont impliqués dans l'obtention de spécifiques réponses aux stress biotiques et abiotiques (Parween, T., & Jan, S. 2019).

Le stress oxydatif entraîne une dégradation de la chlorophylle pigments et protéines et il provoque finalement une réduction de l'efficacité photosynthétique de plantes (Xia et al. 2006). Pour faire face au stress oxydatif, les antioxydants le système de défense des plantes est activé, ce qui implique des antioxydants enzymatiques et non enzymatiques. Activation du

système de défense antioxydant aide au piégeage des ROS et réduit le stress oxydatif des plantes causé par la toxicité des pesticides (Sharma, A et al 2019).

Les plantes peuvent détoxifier les pesticides chimiques via un système de détoxification en trois phases (Varjani, S. J, 2018).

Les plantes potentiellement résistantes possèdent capacité à répondre à la pollution ou au stress des pesticides par l'un des grand nombre de réponses physiologiques ou morphologiques, y compris changements au niveau moléculaire. Il a été proposé que les conditions de stress environnemental provoquent altération de l'expression des gènes, y compris la synthèse de nouvelles protéines ou réprimant certaines protéines normalement exprimées qui permettent probablement la plantes à faire des ajustements biochimiques et structurels pour faire face à le stress (Mitra, J., & Raghu, K, 1998).

Les plantes étant des entités sessiles sont souvent soumises à des stress environnementaux variés. Ils ont développé une défense alternative mécanisme qui implique une grande variété de métabolites secondaires pour servir d'outils pour faire face à diverses conditions de stress. L'exposition des cellules végétales à des stress abiotiques et biotiques initie des cascades de réactions à plusieurs niveaux qui conduisent par conséquent à la production et à l'accumulation de divers métabolites secondaires (Khare, S, et al 2020).

Diverses molécules enzymatiques et non enzymatiques comprenant le système de défense antioxydant entre en jeu pour contrer l'effet indésirable des stress écologiques. Énergie requise comme carburant dans la biosynthèse, le transport et le stockage qui comprend les coûts de formation de divers facteurs de transcription (Khare, S, et al 2020).

Lorsque la plante subit un stress combiné, elle exprime divers facteurs de transcription qui pourraient aider la plante à fabriquer cascades de signalisation flexibles pour augmenter la résistance des plantes contre l'un des stress. Sur la base de ces feux de la rampe (Khare, S, et al 2020).

La lutte contre les effets délétères des ERO est assurée par différents systèmes de défense, chargés non seulement de capter et de neutraliser les ERO, mais aussi d'éliminer et de remplacer les molécules endommagées. Ces systèmes de défense sont présents dans le cytosol, et dans les différents organites. Les systèmes antioxydants assurent trois fonctions essentielles,

La première consiste à empêcher la formation ou l'amplification des ERO par "quenching" (désactivation de molécule) de biomolécules excitées comme les chlorophylles,

La deuxième fonction repose sur le processus de "scavenging" (détoxification chimique) par des molécules antioxydants impliquées dans des processus enzymatiques ou non-enzymatiques. La troisième fonction des systèmes antioxydants assure la réparation des dommages oxydants et l'élimination des molécules endommagées (Serra, A. A, 2015).

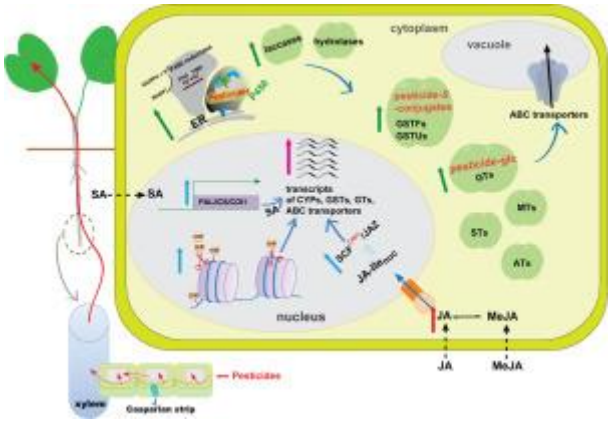


Figure 3: la toxicité chez les plantes (Zhang, J. J., & Yang, H, 2021).

7 Les stratégies adoptées pour diminuer les effets des pesticides :

En raison des effets négatifs de l'introduction de pesticides dans l'environnement, il est nécessaire de rechercher des méthodes qui soutiennent l'activité biologique du sol et en même temps assurer une dégradation sûre et appropriée des pesticides.

Cette question est difficile à développer en raison du manque de données sur l'utilisation de pesticides avec d'autres traitements augmentant leur biodégradation et leur impact sur l'activité microbienne dans le sol (Wołejko, E, et al, 2020).

7.1 Amélioration de la toxicité des pesticides par les phytohormones :

7.1.1 Brassinostéroïdes:

Les BR sont une classe d'hormones végétales naturelles se manifeste dans la régulation de la croissance, du développement et de la réponse au stress des plantes.la tolérance au stress induite par le BR est associée à des changements dans l'homéostasie redox cellulaire et à l'expression d'un large éventail de gènes liés au stress (Parween, T., & Jan, S, 2019).

7.1.2 Acide salicylique :

La SA est un composé phénolique qui joue un rôle clé dans la régulation de l'activité antioxydante en inhibant ou en activant le système antioxydant enzymatique et en contrôlant ainsi la production de ROS chez les plantes soumises à des stress biotiques / abiotiques .SA en tant que molécule de signalisation puissante dans les plantes est impliquée dans l'obtention de spécifiques réponses aux stress biotiques et abiotiques (Parween, T., & Jan, S, 2019).

7.1.3 Acide jasmonique:

Est une molécule signal qui joue un rôle dans la réponse aux stress biotiques et abiotiques ainsi que dans la croissance et le développement des plantes. De plus, l'application exogène de JA déclenche davantage leur accumulation dans les plantes poussant dans des conditions environnementales défavorables, ce qui entraîne une augmentation des plantes. Résistance contre ces conditions. (Parween, T., & Jan, S, 2019).

7.2 Amélioration de la toxicité des pesticides par les nanoparticules :

La croissance rapide des nanosciences et des nanotechnologies a conduit au développement d'une large gamme de nanomatériaux destinés à améliorer l'efficacité et la sécurité des produits chimiques agricoles. En ce sens, divers nano transporteurs ont été développés pour une utilisation dans le domaine agricole, y compris les nano dispersions, les nano émulsions et les nanoparticules inorganiques et organiques (Parween, T., & Jan, S, 2019).

Partie 03: La tomate

1 Présentation de plante de tomate :

La tomate est une plante annuelle herbacées poilue, aux feuilles odorantes ,port arbustif buissonnant ou retombant ,cette plante peut mesurer une hauteur comprise entre 40cm et 2m,les feuilles sont composées ,à folioles ovales un peu dentées, les fleurs petits, jaunes, en forme d'étoile, sont groupés sur un même pédoncule en bouquet lâche de 3 à 8 fleurs, ces bouquets apparaissent sur la tige chaque fois que la plante a émis 3 feuilles, l'ovaire de tomate est supère et comporte 2 loges mais certains d'autres peut comporter jusqu'à 3 ou 5.(polese, 2007)Parmi les noms communs utilisés pour désigner la tomate il Ya: tomate (espagnol, français), tomat (indonésien), tomati (Afrique de l'ouest), pomodoro (italien) (Naika, S., et al 2005).

2 Description botanique :

Elle a une racine pivotante forte qui pousse jusqu'à 50cm de profondeur, la racine principale produit une haute densité de racine latérales, la tige pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4m,tige pleine, glandulaire, le feuillage disposé en spirale,15 à 50 cm de long et 10 à 30cm de large, des grandes folioles parfois sont pernatifides à la base, l'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs le pétiole et entre 3 à 6cm,les fleurs sont bisexuées, régulières, le tube de calice est court et velu, les sépales sont persistantes, il Ya 6 pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1cm qui sont jaunes et courbées lorsqu'elles sont mures ,l'ovaire est supère entre 2 et 9 carpelles, la plante est autogame mais la fécondation croisée peut avoir lieu, le fruit de forme globulaire ou aplatie elle est vert et poilue, les fruits mur leur coloration varie entre le jaune et le rouge, ils sont ronds et réguliers, les graines sont nombreuses et de forme de rein ou de poire ,une longueur de 3 à 5mm et 2 à 4mm de largeur (Naika, S., et al 2005).

2.1 Le fruit :

C'est un fruit charnu qui contient des graines appelées pépins, ces pépins sont entourées de mucilage de la graine, il existe des variétés de divers tailles, couleurs et formes, le cycle de graine à graine ça dure entre 90 jusqu'à 120 jours dans les conditions optimales suivant les variétés, la première feuille apparait après 60 jours de semis et après 70 jours après la fleur que la tomate soit mure, il existe des variétés précoces et des variétés tardives, les variétés précoces sont des variétés qui donnent les fruits avant les autres, leur durée de cycle est courte et les variétés tardives sont qui produiront des fruits plus tardivement et Ya entre les 2 des variétés semi tardives ou semi-précoce (Polese, J. M, 2007).



Figure 4: Photographie d'un fruit de tomate à maturité **(**Vincent Truffault 2015).

3 Classification botanique :

Tout d'abord le nom scientifique *Solanum lycopersicon*. a été proposé pour remplacer *Lycopersicum esculentum* Mille. Utilisée depuis de nombreuses décennies. En effet, les élémentshistoriques montrent que *Solanum lycopersicum* a été proposé par Linné en 1753, un an avant la proposition de Miller d'associer la tomate au genre lycopersicum. Des études phylogénétiques s'appuient l'idée que la tomate et ces cousins les lycopersicum sauvages doivent être placés dans le genre Solanum. Les deux noms continuent à être utiliser dans la littérature (BENTAMRA, Z. Labed, L. 2018).

Tableau 2: Classification botanique de la tomate.

Règne	***Plantae***
Classe	*Magnoliopsida*
Sous-classe	*Asteridae*
Ordre	*Solanales*
Famille	*Solanacea*
Genre	*Solanum*
Espèce	*Solanum lycopersicon Miller (*FAO, 2007)

4 L'importance économique de la culture de tomate:

4.1 Dans le monde :

La production mondiale annuelle de tomates connaît une progression régulière, et elle est de 152Mt, dont un tiers en Asie, un tiers en Europe, un tiers en Amérique du Nord. , 30 millions sont destinés à la transformation .La plante est cultivée sous serre et en plein champ, sur une superficie d'environ**5.3** millions d'hectares, ce qui présente près d'un tiers (1/3) des surfaces mondiales cultivées consacrées aux légumes (REKIBI, F, 2015).

4.2 En Algérie :

Une large extension des superficies qui produire de tomate a été enregistrés en raison de l'intérêt particulier que portent les agriculteurs à cette culture, elle été classés en deuxième place après la pomme de terre, comme elle envahit 5% de productions maraichères, les superficies sont passées de 18020ha en 1990 à 20789ha en 2012 veut dire un accroissement de 2769ha (Mahdjouba, B. 2018).

5 Les principaux maladies et ravageurs de tomates :

La tomate comme toute autre culture maraîchères face plusieurs maladies et ravageurs tels que :

5.1 Les nématodes:

sont des vers de très petite taille, vivent dans le sol, se nourrissant sur les racines des plantes, ont des organes perforateurs au niveau de bouche qui leur permettent de sucer la sève, ceci provoque une diminution de la capacité productive des plantes, causes des blessures qui permet la pénétration des virus et les moisissures qui rendront la plante malade, un retard de croissance ,la couleur de plante plus claire et la forme des feuille anormale, cela commence dans une partie limitée puis se propage lentement sur la totalité du champs, ils provoquent des galles(des tumeurs cancéreuses), Il Ya 3types de nématodes(meloidogyne incognita, M.javanica, M.arenaria),la transmission des nématodes se produire par le biais du matériel végétale contaminé, l'eau d'irrigation, vents ou par les chaussures des humains (Naika, S., et al 2005).

5.2 Les insectes:

Qui piquent et sucent comme les mouches blanches, les thrips, les pucerons.

5.2.1 La mineuse de la tomate (tuta absoluta):

Tuta absoluta c'est un ravageur clé de la tomate dans son aire d'origine en Amérique latin (Kaouthar, L. G, et al 2010), ce ravageur a été signalé pour la première fois au printemps 2008 à Mostaganem dans les cultures de tomates sous serre puis diffusé vers littorale et l'est (Mahdjouba, B. 2018), les dégâts qui va été manifesté peuvent atteindre 100%,la larve qui vit dans le fruits, tige et fleurs creusé des galeries, pendant les 1ers stades de développement la mineuse peut tuer la plante, des galeries blanchâtres se manifeste sur feuille, avec le temps les galeries nécrosent et brunissent, la larve perfore une galerie dans le fruit ce qui le rend déformé et prédisposé aux attaques des agents pathogènes, une dépréciation de la qualité de fruit (Kaouthar, L. G, et al 2010).

5.2.2 Les mouches blanches (Bemiscia tabaci):

La mouche adulte de couleur blanche, elle se nourrit de sève des feuilles, elle fait la ponte sur la face inférieure des feuilles, l'éclosion après une semaine, les nymphes forment un cocon après 2 à 4semaines resteront pendant une semaine pour métamorphoses (Naika, S., et al 2005).

5.2.3 Les pucerons (aphidae):

Sont des insectes allongés, de 2,5mm de long, il ya des espèces ailés et d'autres sans ailes, lorsqu'ils apparaissent en grands nombres ils causses des dommages directes comme la transmission des virus (Naika, S, et al 2005).

5.2.4 Les thrips (thripidae):

Sont des insectes très petits, ils mesurent de 0,5 à 2 mm de long, ils sont des ailes, ils déposent leurs œufs sur les feuilles, les larves apparaissent après environ 10 jours, es larves et les thrips sucent de sève, et provoque des taches argentées sur la surface des feuilles, certains espèces de thrips sont des vecteurs de la maladie bronzée de tomate(TSWV) (Naika, S, et al 2005).

5.2.5 Les papillons et les noctuelles (lépidoptera):

Sont des ravageurs courants de tomate, les œufs déposés sur les jeunes feuilles, fleurs, fruits et même des racines, les chenilles grandissent et traversent de phase de croissance (Naika, S, et al 2005).

.

5.2.6 Les cicadelles de pomme de terre (cicadellidae: Empoasca fabae):

La cicadelle la plus commune des tomates et celle de pomme de terre, elle dépose des œufs verts sur le côté inférieur des feuilles, elle se nourrit de sève de plante, provoque une perte de coloration des feuilles (Naika, S, et al 2005).

5.2.7 Les acariens (*Tetranychus* spp) :

sont des organismes qui ressemblent aux araignées, ils mesurent 1mm, de coloration rouge, jaune ou orange, les larves et les insectes sucent la sève des plantes, les feuilles et les tiges jaunissent et se dessèchent, ils fabriquent des toiles en fils légers comme les araignées, provoque des dommages importantes dans la saison sèche (Naika, S., et al 2005).

5.3 Les maladies :

La tomate est sensible aux moisissures, bactérie et virus qui provoquant des maladies:

5.3.1 Les bactéries:

Sont des organismes unicellulaires minuscules invisible à l'œil nu et visible sous microscope, par contre les moisissures, les spores germent et pénètre dans la plante, ils ne peuvent infecter les plantes que par les stomates et les lenticelles, blessures la plupart des maladies bactériennes sont transmises dans les conditions d'humidité et de température élevée, la bactérie provoque le flétrissement de tige, racine et feuille (Naika, S., et al 2005).

5.3.1.1 Le flétrissement bactérien (Ralstonia solanacearum):

Les premiers symptômes sont le flétrissement des feuilles terminales suivi d'un flétrissement permanant le système vasculaire dans la tige devient brun clair et prendra une couleur foncée dans les stades avancées, les bactéries peuvent survivre dans le sol et pénètre les racines des jeunes plantes par le biais de blessures causés par labours, insectes ou certains nématodes (Naika, S, et al 2005).

5.3.1.2 Le feu bactérien :

Le pathogène se propage par les biais des graines, d'insectes, les pluies torrentielles est une humidité élevée qui favorise le développement de maladies, ce pathogène affecte, feuille, fleurs, tiges, provoques des petites taches sur les organes attaqués, ces taches sont brunes et arrondies, les feuilles jaunissent puis tombent et des lésions elliptiques sur tiges vont apparaitre (Naika, S, et al 2005).

5.3.1.3 Le chancre bactérien (Clavibacter michiganense):

C'est une maladies importante sur le point économique qui sévit dans le monde entier,

les bactéries peuvent survivre sur les résidus des plantes ,les dommages sont importants si ils sont associées avec des nématodes de nodosité des racines, les feuilles infectées jaunissent, flétrissent puis dessèchent, des racines adventices peuvent se former sur tige, les tissus vasculaires brunissent, les symptômes n'apparaissent pas toujours sur les fruits mais facilite le diagnostic si sont présents (Naika, S., et al 2005).

5.3.2 Les virus :

La tomate est sensible aux maladies virales, les virus sont des pathogènes sub-microscopiques ayant des structures des protéines, ils ont sont propagé par des insectes vecteurs, les dommages provoquées sont plus importants que les blessures physiques causés par l'insecte vecteur provoques des couleurs claires des feuilles ou une mosaïques de tons verts clairs et foncés sur feuilles, entraine un retard de croissance provoque des déformation étrangers au niveau des feuilles et tiges, parmi les virus signalés dans la culture de tomate il Ya : TMV,CMV,TEV…… etc (Naika, S., et al 2005).

5.3.3 Le mildiou (Phytophtora infestans):

La moisissure se trouve dans les basses terres ou les conditions climatiques sont fraiches et humides, de légères taches foncées avec points jaunes au centre sont visible sur feuilles, parfois les taches commence à apparaitre sur le bord et multiplient vers le centre et le contraire, taches blanches, les tiges et les fruits peuvent être contaminé, fruits couvrent de taches brunes et feuilles flétrissent (Naika, S., et al 2005).

5.3.4 La fusariose:

Un flétrissement, enroulement et jaunissement des feuilles à leurs bords de base de feuille vers le haut, taches brunes si l'on coupe la tige ou les racines, la plante flétrisse sur un côté et l'autre reste saine (Naika, S, et al 2005).

5.3.5 Verticilliose:

À des signes d'infection similaires à ceux de fusariose des plantes flétrissent et les feuilles jaunissent

5.3.6 L'oïdium:

Apparait par des taches jaunes sur les feuilles et de poudre provenant des spores sur les côtés inferieur des taches, cette maladie se propage rapidement dans les conditions arides (Naika, S, et al 2005).

5.3.7 L'anthracnose:

Parmi les signes d'infection il ya des taches gris-brunes sur les fruits, les spores de couleur rose dans les conditions humides, cette maladie se propage dans les conditions humides, la transmission se fait par le biais des parties des plantes infectées (Naika, S., et al 2005).



Figure 5: Symptômes de T. absoluta sur fruits de tomate (Mahdjouba, B, 2018).

Chapitre II:

Matériel et méthodes :

1 L'objectif :

Pour évaluer les effets toxiques des pesticides sur des organismes non ciblés, des plantules de *Solanum lycopersicon* ont été exposées pendant 7 jour à l'insecticide lazer (LAZ), le fongicide AGRIM 25 (AGR) et à leur mélange et le rôle silicium dans l'amélioration de stress induit par les pesticides.

À notre connaissance, très peu d'études ont systématiquement discuté du mécanisme de pesticides et du rôle anti-stress du silicium chez les plantes contaminés par des pesticides. La diaphonie entre Si et le mécanisme de tolérance au stress de la plante à la toxicité du l'insecticides et du fongicide est discutée dans l'étude sous-jacente.

2 Le matériel biologique :

Le modèle végétale utilisé est les plantules de tomates (Lobana) a été fourni par la pépinière Rami de Ain taya Alger.

On a choisis cette variété pour sa disponibilité.

3 Le matériel chimique :

Pour notre travail, on a utilisé deux molécules chimiques de pesticide de type systémique, un insecticide (LAMB-DA-CYPHA) et un fongicide (DIFENOCO-NAZOLE). Les caractéristiques des deux produits sont présentées dans le **tableau 3**.

Tableau 3: Caractéristique des deux pesticides utilisés LAZ et AGR (Index phytosanitaire 2017).

Nom commercial	Matière active	Concentration	Déprédateur	Culture	La dose d'utilisation
AGRIM25	DIFENOCO-NAZOLE	250G/L	Oidium/moniliose	Arbres fruitiers	250g/Ha
LAZER	LAMB-DA-CYPHA-LOTHRINE+PYRIMICARBE	5%+10%	Punaise/pucerons	Céréale	1-1.5L/Ha
			Pucerons	Arbres	0,75-1L/Ha
			Tordeuse	fruitiers	1L/Ha
			Pucerons	Vigne	1L/Ha



Figure6: insecticide LAMB-DA-CYPHA.



Figure 7: Fongicide DIFENOCO-NAZOLE.

4 La préparation du sol :

Pour la plantation de la tomate, le sol a été prélever sur un champ agricole de la région d'Omaria où il est jamais traité par les produits phytosanitaires, destiné pour cultive des céréales. Un rapport de 1/3 de sol, 1/3 de sable et 1/3 de tourbe. Le sol préparé a été fait en mélangeant soigneusement les trois composés précédents, cela fait après le tamisage du sol avec un tamis de 2 mm, le mélange a été stérilisé dans l'étuve à une température de 55 C° pendant 2 jours, ensuite les plantules de tomates ont été transplantées dans les pots.

- La mise en pots : faire des petits trous sur la base des pots
- La plantation des tomates: (une alvéole de 85 plantules de tomates sains)



Figure 8:La plantation des tomates sous-sol.

- Dans chaque pots remplie par sol (122,57g), transplanté une plantule
- L'irrigation est faite chaque 2 jours par l'eau de robinet, les plantules sont laissées dans une serre où la température varie entre 20 et 25 C° et d'humidité 70 % et la photopériode est de 16/08h,

- Les plantules sont transférées par la suite à un milieu nutritif. Ce dernier est préparé par un mélange des solutions de macro et micro nutriment qui sont composés de :

Tableau 4: La composition du milieu nutritif (macro et micro nutriments).

Les macros nutriments (g/5,5L)	Les micros nutriments (Mg/1L)
KH_2PO_4 :0,19g	H_3BO_3: 2,86g
KNO_3 :0,7g	MnSO4, $4H_2O$:1,81g
NH_4NO_3 :0,46g	ZnSO4, 6H2O :0,22g
$MgSO_4$, $7H_2O$:0,68g	$CuSO_2$, $5H_2O$:0,08g
	(NH_4) MO_7O_{24}, $4H_2O$:0,09g
	EDTA-Fe:0,008g

5 L'application de stress :

La dose agronomique pour les 2 produits est de 3ml pour 5L (0,6ml pour 1L).

Le 19/03/2022, le stress est appliqué comme suit:

Les plantules de tomates sont classées en cinq groupes comme suit:

- 10 pots : témoins (n'ont pas traités)
- 10 pots : traités par un insecticide, 2ml/L a été pulvérisé 2fois par jour le soir et la matinée
- 10 pots : traités par un fongicide 120µl a été ajouté dans chaque pot
- 10 pots : traités par isecticide+fongicide
- 10 pots : traités par la combinaison insecticide + fongicide + silicium, 34mg dans chaque pot

- Le stress est appliqué et répété 7 jours successives, les symptômes sont apparaitre flétrissement et la chutes des plantules dans le cas de fongicides et insecticides et la combinaison entre eux.



Figure 9: Les plantules de tomates sous stress.

- Les mesures physiologiques des plantules est prennent, et les extraits sont préparé.

6 Analyses morphologiques :

6.1 La longueur des racines et de partie aérienne :

Les feuilles, les pousses et les racines ont ensuite été soigneusement séparées en les coupant à l'aide d'une lame tranchante, les longueurs des pousses et des racines ont été déterminées à l'aide d'une échelle (mm) Tous les attributs de croissance ont été déterminés dans trois répétitions, comprenant trois plants choisis au hasard.

6.2 Détermination de la biomasse :

Pour évaluer la teneur en biomasse, 5 plantules choisies au hasard dans chacun des traitements en les pesants séparément dans une balance électronique.

7 Analyses physiologiques :

7.1 Dosage des pigments chlorophylle :

L'extraction de la chlorophylle a et b est réalisée selon la méthode de (Lichtenthaler & Wellburn, 1983). Des quantités pesées (50 mg) de feuilles ont été extraites, en trois répétitions, avec 5 ml d'acétone réfrigérée à 80 % (v/v) et centrifugées (5 000 tr/min, 10 min) pour éliminer les débris. Le surnageant ainsi recueilli a été transféré dans un autre tube et son absorbance a été lue à 645 et 663 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis (SP 3000 nano optima), et les valeurs ont été exprimées en mg g-1 MF. L'équation ci-dessous a été utilisée pour calculer la teneur en Chl total.

8 Analyses biochimiques :

8.1 Biomarqueurs de stress :

8.1.1 Extraction :

Des quantités pesées (100mg) de Matière fraiche feuille récoltés sur trois plantules choisies au hasard, ont été extraits dans 1,5 TCA (0,1%) et centrifugées (12 000 tours/ 15 minutes) à température (04 ºC). Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et le malondialdéhyde (MDA) deux marqueurs de l'état oxydatif des cellules, sont dosés selon la méthode de Velikova et al., (2000).

8.1.2 Peroxyde d'hydrogène H_2O_2 :

Une partie du surnageant obtenu a été ajoutée à des volumes égaux de tampon phosphate de sodium 10 Mm (pH 7) et d'iodure de potassium (1M), L'absorbance de l'échantillon a été lue à 390 nm.

8.1.3 Malondialdehyde (MDA) :

A un volume de 0.5 ml de surnageant est ajouté un volume de 1,5 ml d'acide thiobarbiturique (TBA, 0.5 %) préparé dans du TCA 20 %. Le tout est incubé pendant 30 min dans un bain-marie à 95 °C. Dans ces conditions, les composés aldéhydiques, essentiellement le malondialdéhyde, vont réagir avec le TBA pour former le complexe TBA-MDA (Heath & Packer, 1968).

La réaction est arrêtée par un refroidissement immédiat dans de la glace pilée, pendant 10 min. Le surnageant est récupéré pour le dosage par colorimétrie des lipoperoxydes. L'absorbance est lue à 532 et 600 nm contre un blanc contenant un mélange de TBA-TCA.

8.2 Enzymes Antioxydants :

8.2.1 Extraction :

Les tissus foliaires (100mg) récoltés sur trois plantules choisies au hasard ont été extraits à l'aide d'un mortier avec 3ml de tampon phosphate de potassium 50 Mm (pH 7,8), L'homogénat a été centrifugé à 15 000 rpm pendant 15 min à 4°C.Le surnageant obtenu a été utilisé pour l'estimation des enzymes

8.2.2 Dosage des protéines :

La teneur en protéines des différents extraits obtenus est quantifiée par spectrophotométrie à 595 nm selon la méthode de Bradford, (1976),le milieu réactionnel est composé de 500µL extrait et de 1,5ml de Bradford puis agitation pendant 1min, la teneur est

mesurée par un spectrophotomètre à une longueur de 595nm.

8.2.3 Dosage de catalase (CAT) :

Selon la méthode décrite par Aebi, (1984),Le milieu réactionnel est composé de 1,5ml de tampon phosphate(50mM,ph=7) et de70 µL extrait, la réaction se commence par l'ajoute de 930 µL H_2O_2 (15mM),l'absorbance est enregistrée à 240nm.

8.2.4 Dosage d'ascorbate peroxydase (APX):

L'activité APX est mesurée par un spectrophotomètre, selon la méthode de Nakano & (Asada, 1981), à une longueur de 290nm,le milieu réactionnel est se compose du 2,430ml tampon phosphate(50mM, ph=7),(0,5mM) acide ascorbique,(1mM) H_2O_2 et la réaction se commence par l'ajoute de 70 µL extrait enzymatique.

8.2.5 Dosage de Glutathion-S-transférase (GST):

L'activité GST a été déterminée selon Xia et al., (2009). Le milieu réactionnel de GST se compose de 1930µL, 250µL GSH (10Mm), 250µL (CDNB-10Mm) et 70µL d'extrait. Les réactions ont été initiées avec l'ajout du substrat CDNB dans l'éthanol. La formation enzymatique de 2,4-dinitrophényl-S-glutathion à 340 nm (E = 9,6 mM-1 cm-1) a été surveillée pendant 5 min et corrigée pour les contrôles non enzymatiques.

8.3 Métabolites antioxydants:

8.3.1 Totale phénolique:

Des quantités de 100mg (feuilles) sont broyés dans un mortier pendant 2 min avec 3ml éthanol 70%, l'homogénat est centrifugé a 4C°/15000 pendant 10 minutes, puis on prélève 250 µL d'extrait, 1,25ml de folin et 1ml carbonate de sodium, la lecture de l'absorbance est mesurée à 765nm après l'incubation pendant 90minutes (Singleton et al., 1965).

8.3.2 Flavonoïdes :

Après l'extraction (la même méthode avec le totale phénolique), on prélève 1ml extrait et 1ml $AlCl_3$, le mélange est incubé pendant 40minutes, l'extrait est mesuré avec un spectrophotomètre à 415nm (Zhishen et al., 1999).

8.3.3 Glutathion (GSH) :

La concentration de GSH a été déterminée selon la méthode de Anderson, (1985). Pour quantification du GSH, 100mg de tissus ont été homogénéisés avec 1,5 ml (5%TCA) et ensuite centrifugés à 12 000 /4C° pendant 12 min le surnagent a été utilisé pour déterminé la

teneur en GSH. Le glutathion réduit (GSH) a été estimé en préparant un mélange réactionnel contenant 0,5ml d'extrait, 0,6ml de tampon phosphate de potassium (100Mm, pH 7), 40µL LDTNB (6Mm) l'augmentation de l'absorbance a été enregistrée à 412 nm.

8.3.4 Proline :

La quantité de Pro a été déterminée selon la méthode de Bates et al., (1973). Pesé quantité (0,5 g) de tissus foliaires a été extraite avec 10 ml d'acide sulfosalicylique à 3 % (p/v) et centrifugée à 6 000 tr/min pendant 15 min à 26 °C. Surnageant (2 ml) donc recueillis ont été mélangés avec 2 ml de réactif à la ninhydrine (1,25 g de ninhydrine dissous dans 30 ml d'acide acétique glacial et 20 ml d'acide orthophosphorique) et de l'acide acétique glacial. Le mélange a été incubé à 100°C pendant 60 min, puis refroidi à température ambiante. Ensuite, 4 ml de toluène y ont été ajoutés. Le chromophore contenant du toluène a été aspiré et l'absorbance de la solution restante a été déterminée à 520 nm par prenant le toluène comme blanc. La quantité de Pro a été exprimée en µmol g-1 FM, et a été calculé à l'aide de la formule :

[(µg pro/ml * ml toluene)/115,5µg/µmol]/[(g echantillon/5)]=µmolproline/G MF

9 Analyses statistiques :

Les données expérimentales ont été analysées par ANOVA à une voie, tandis que la Tucky a été utilisé pour déterminer les différences significatives entre les traitements au niveau $P < 0,05$. Les valeurs présentées sont des moyennes ± l'écartype de trois répétitions, et chaque expérience a été répétée deux fois, au moins. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS (Ver 16.0).

Chapitre III:

Résultats et discussion

1 Effet de LAZ et/ou AGR sur les paramètres de croissance :

1.1 Longueurs des pousses et des racines :

D'après le tableau 5, on remarque que les indices de croissance ont été influencés négativement par les traitements aux insecticide et/ou au fongicide.

L'exposition de *Solanum lycopersicon* au LAZ et/ou AGR, séparément, pendant 7 jours, a révélé une baisse considérable de la longueur des pousses (19,67 % et 23,18%) et des racines (16,22 % et 30,56 % respectivement) par rapport aux témoins respectifs (**Tableau 5**). Cependant, ces réductions ont encore augmenté lorsque l'insecticide et le fongicide ont été appliqués simultanément (30,72% et 34,33%) respectivement. Les résultats indiquent que l'addition combinée d'insecticide et de fongicide était plus nuisible que leurs applications seules. Au contraire, l'ajout externe de Si aux plantules stressées a augmenté la longueur des pousses de 7,81 % et la longueur des racines de 30,18 %, par rapport à aux plantules traités aux pesticides (**tableau 5**).

Tableau 5: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du Si sur la longueur des pousses et des racines dans les tissus foliaires de tomate (originale).

	CK	LAZ	AGR	LAZ+AGR	LAZ+AGR+SI
SL (%)	100±2,05	80,32±0,98	76,81±1,34	69,27±0,21	92,18±0,14
RL(%)	100±1,06	83,77±0,42	69,43±1,41	65,66±0,28	69,81±1,34

1.2 Biomasse :

L'analyse du tableau 6, montre que, les doses agronomiques de LAZ et/ou d'AGR ont eu un impact négatif sur la biomasse des plantules. Après 7 jours de traitements, l'accumulation de la biomasse a diminué. Par rapport à leurs témoins respectifs **(tableau 6)**, Alors que l'addition combinée de LAZ et d'AGR a diminué encore l'accumulation de la biomasse, Les résultats indiquent que l'intensité de l'inhibition de l'accumulation de la biomasse était plus importante chez les plantules traitées par LAZ et l'AGR simultanément avec ceux traités seuls. Cependant, l'ajout externe de Si aux plantules stressées a augmenté la biomasse des pousses de 19,27 % et celle des racines de 27,10 %, par rapport à aux plantules traités aux pesticides **(tableau 6)**.

Tableau 6: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur la longueur des pousses et des racines dans les tissus foliaires de tomate (originale).

	CK	LAZ	AGR	LAZ+AGR	LAZ+AGR+SI
SB(%)	100± 0,06	88,72± 0,18	60,72± 0,09	30,18±0,02	80,72±0,22
RB(%)	100±0,06	36,44±0,03	54,20±0,07	25,23±0,07	72,89±0,15

2 Effet d'AZR et/ou AGR sur la teneur en pigments :

Les traitements d'LAZ et d'AGR, séparément, dans les plantules de *Solanum lycopersicon* ont dévoilé une baisse remarquable (55,71% et 30,88%) respectivement de la teneur totale en Chl, par rapport à leurs témoins respectifs (**Fig. 10**). De plus, l'addition combinée de ces deux facteurs de stress a entraîné une diminution supplémentaire de la teneur totale en Chl de 64,59 %, ce qui s'est révélé plus nocif que leurs applications individuelles. Cependant, l'ajout externe de Si aux plantules stressées a augmenté la teneur de chlorophylle de (57,51%) par rapport à plantules traitées aux pesticides (**Fig. 10**).

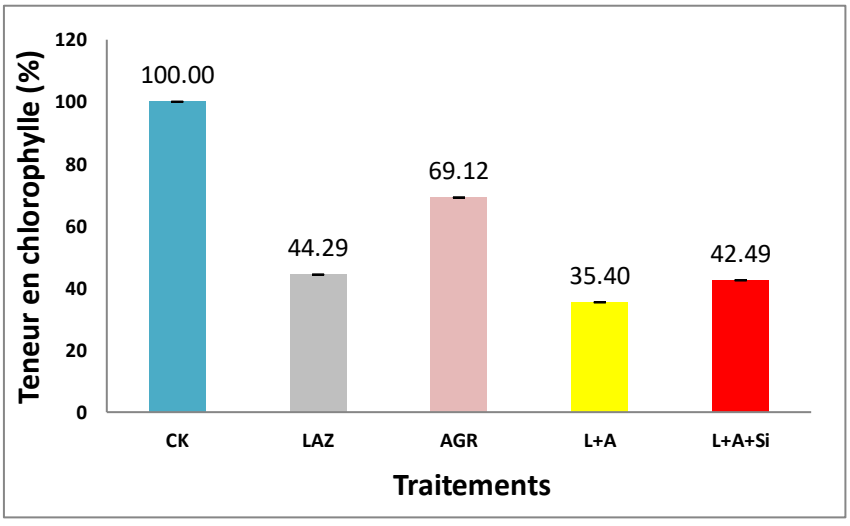


Figure 10: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs en pigments dans les tissus foliaires de tomates (originale).

Effet de LAZ, AGR et leur combinaison sur les biomarqueurs de stress oxydatif :

2.1 Hydrogène peroxyde (H_2O_2):

Une augmentation significative de la génération de H_2O_2 a été documentée dans les plantules de *Solanum lycopersicon* exposé à des traitements au LAZ et/ou AGR pendant 7

jours. Les teneurs de H_2O_2 mesurés lors de la seule application d'LAZ et de AGR étaient (9,13% et 73,09%) respectivement, que ceux des tissus témoins (**Fig. 11**).Par contre, lors du traitement combiné des pesticides, la teneur en H_2O_2 a encore augmenté de 51,26% par rapport aux tissus témoins (**Fig. 11**). Au contraire, l'ajout externe de Si aux plantules stressées a diminué la teneur en peroxyde d'hydrogène de 7,61 %, par rapport à aux plantules traités aux pesticides.

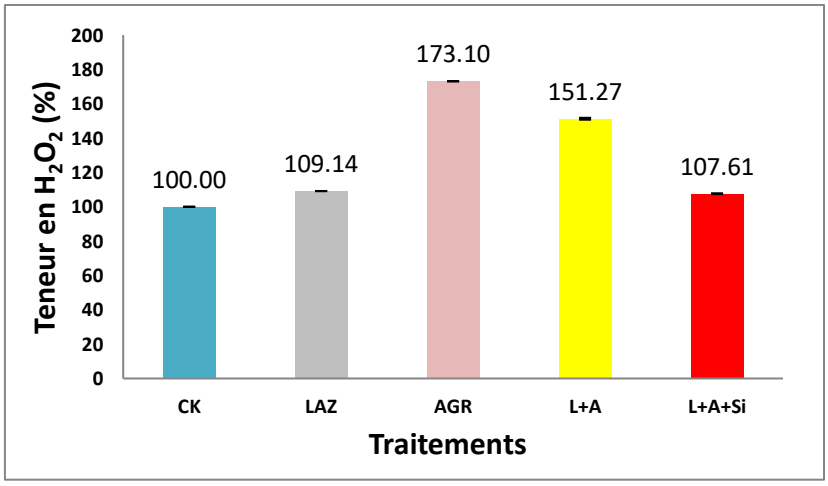


Figure 11: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs en Hydrogène peroxyde (H2O2) dans les tissus foliaires de tomate (originale).

Malondialdehyde (MDA):

Une augmentation remarquable de la production de MDA a été observée dans les plantules de *Solanum lycopersicon* soumises à des traitements au LAZ et /ou AGR pendant 7 jours. Le taux de MDA mesuré lors de l'application combinée des pesticides était augmenté de 29,41% par rapport à celui de témoin **(Fig. 12)**. Au contraire, la supplémentation exogène de Si en même temps que le LAZ et AGR a diminué la teneur en MDA dans les feuilles (5,88%) par rapport aux plantules traitées aux pesticides **(Fig. 12)**.

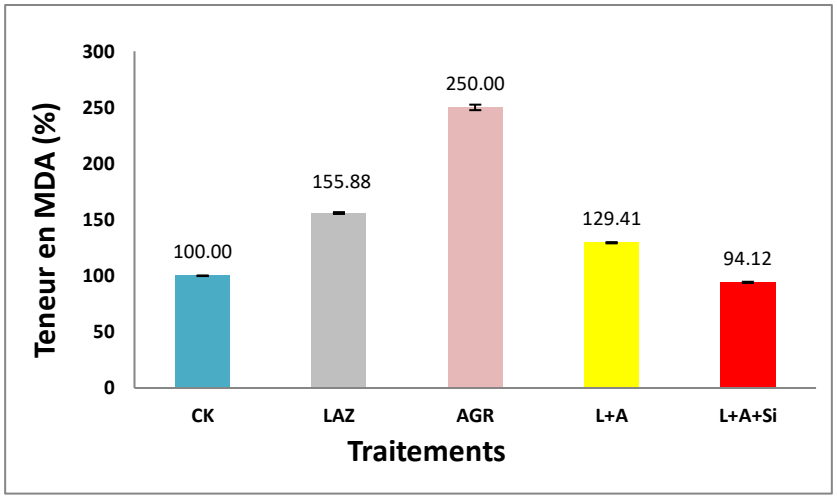


Figure 12: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Malondialdehyde (MDA) dans les tissus foliaires de tomates (originale).

Enzymes antioxydants:

2.2 Total protéine:

L'exposition des plantules de tomates au LAZ et/ou AGR. a entraîné une réduction du niveau de protéines totales par rapport à ceux déterminés dans les tissus respectifs des plantules témoins. En comparaison, l'addition exogène de Si dans des plantules stressées par LAZ et AGR a permis de maintenir des taux de protéines totales par rapport aux parties similaires des plantules traitées aux pesticides.

2.3 Catalase (CAT):

Une augmentation significative de l'activité de la CAT a été observée en réponse au LAZ et/ou AGR dans les tissus de plantules de *Solanum lycopersicon*. Âgées de7 jours. La combinaison de traitement au LAZ et/ou AGR a provoqué une diminution de l'activité de la CAT(57,49)%, par rapport aux tissus témoins **(Fig. 13)**.Cependant, l'ajout externe de si a augmenté l'activité, De la CAT (0,50%), par rapport aux parties de la plante traitées aux pesticides **(Fig. 13)**.

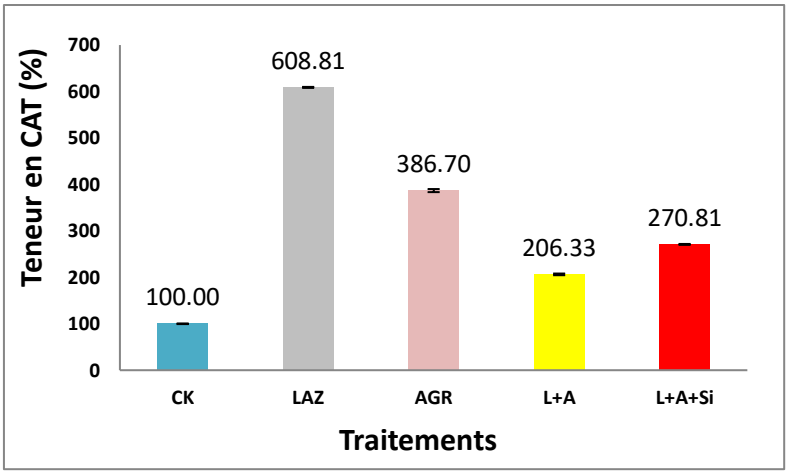


Figure 13: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Catalase (CAT) dans les tissus foliaires de tomates (originale).

Ascorbate peroxydase (APX) :

D'après la figure 14, une augmentation significative de l'activité de l'APX a été observée en réponse au LAZ et/ou AGR dans les tissus de *Solanum lycopersicon*. Âgés de 7 jours. LAZ et AGR ont provoqué une augmentation de l'activité de l'APX (41,50% et 2,87%) respectivement, par rapport au contrôle **(Fig. 14)**. D'autre part, l'application conjointe de pesticides a diminué l'activité de l'APX de 58,08%, l'ajout externe de si a augmenté l'activité de l'APX (27,15%), par rapport aux parties de la plante traitée aux pesticides.

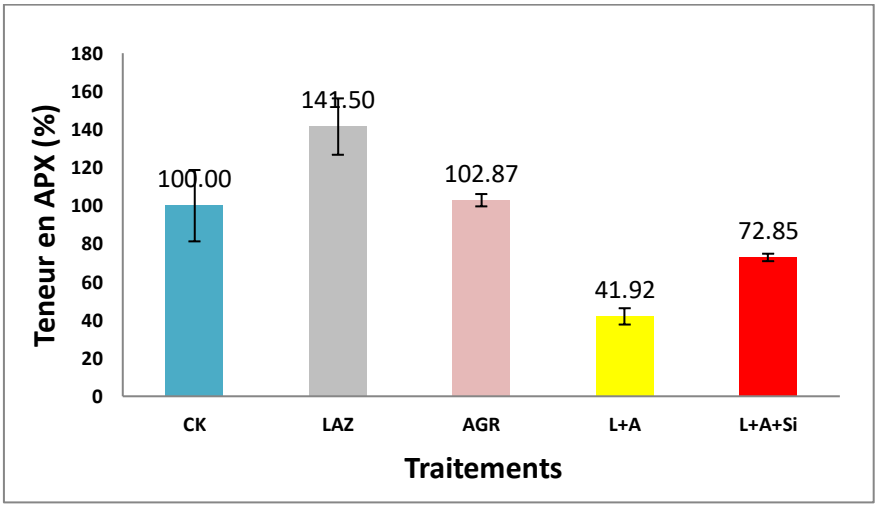


Figure 14: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Ascorbate peroxydase (APX) dans les tissus foliaires de tomates (originale).

2.4 Glutathion-S-transférase (GST) :

L'exposition au LAZ et /ou AGR des plantules de *Solanum lycopersicon* a entraîné une augmentation au teneur de GST (508,81% et 289,69%) respectivement par rapport à ceux déterminés dans les tissus respectifs des plantules témoins **(Fig. 15)**.Cependant, l'ajoute exogène de Si dans des plantules stressées par les pesticides a permis de maintenir des taux de

GST par rapport aux parties similaires des plantules traitées aux pesticides**(Fig. 15)**.

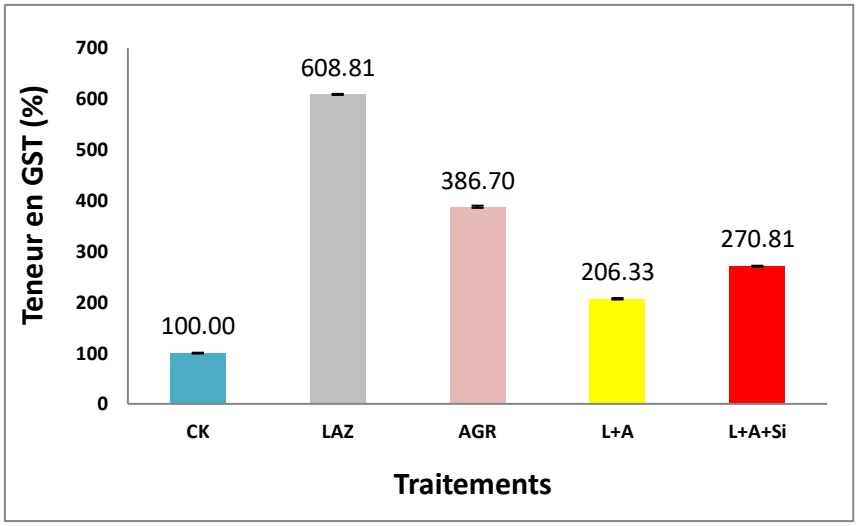


Figure 15: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Glutathion-S-transférase (GST) dans les tissus foliaires de tomate (originale).

Effet de LAZ et/ou AGR sur les teneurs en Métabolites antioxydants :

2.5 Polyphénols :

L'exposition de plantules de *Solanum lycopersicon* à un stress lié au LAZ et/ou AGR pendant 7 jours a entraîné une augmentation de l'accumulation des polyphénols (37,27% et19,17%) respectivement, par rapport au contrôle **(Fig. 16)**. D'autre part, l'application combiné des pesticides a encore diminué l'accumulation des polyphénols et était plus moins que celles observées en réponse à l'application seule de ces facteurs de stress. L'addition de si a amélioré la teneur de polyphénol produit de (25,08%).

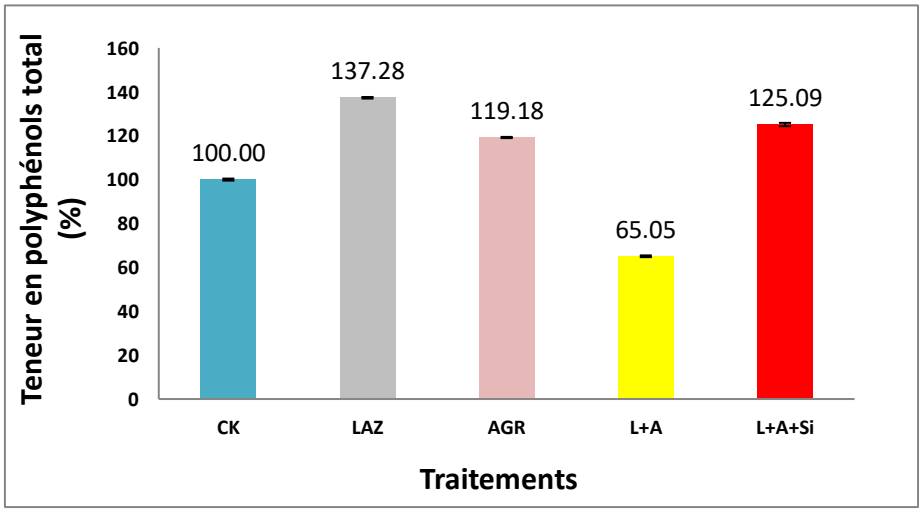


Figure 16: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Polyphénols dans les tissus foliaires de tomates (originale).

Flavonoïdes :

Une diminution significative de la génération de flav a été documentée dans les plantules de *Solanum lycopersicon* exposé à des traitements au LAZ et/ou AGR pendant 7 jours. Les teneurs de flav mesurés lors de la seule application d'LAZ et d'AGR étaient moins que ceux des tissus témoins **(Fig. 17)**, cependant, lors du traitement combiné des pesticides, la teneur en flav a encore diminué par rapport aux tissus témoins **(Fig. 17)**. Au contraire, l'ajout externe de Si aux plantules stressées a augmenté la teneur en flavonoïdes, par rapport aux plantules traités aux pesticides.

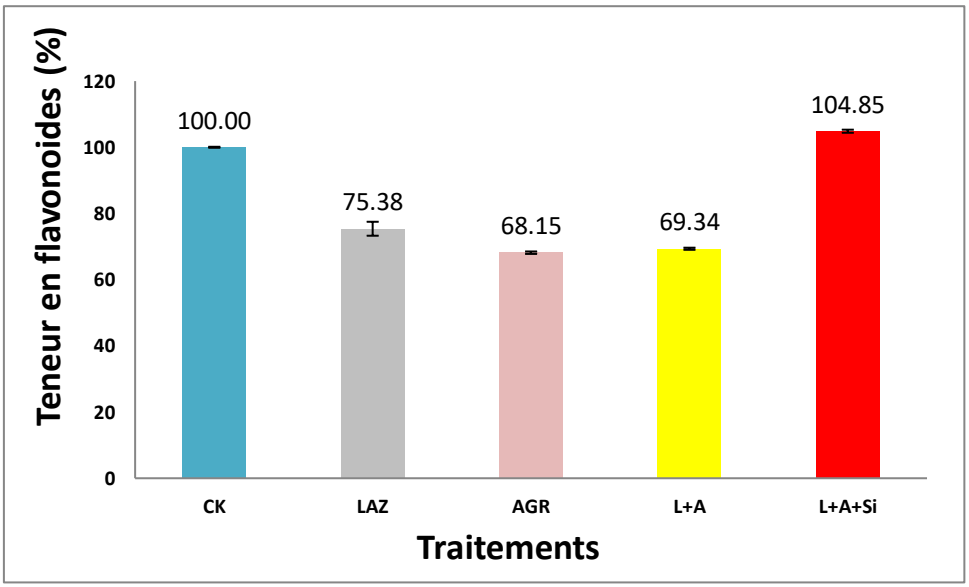


Figure 17: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs flavonoïdes dans les tissus foliaires de tomate (originale).

Glutathion (GSH):

Les plantules de *Solanum lycopersicon*. Soumis à du LAZ et/ou AGR pendant une semaine ont montré une accumulation accrue de glutathion, Dans les plantules exposées au LAZ, la teneur de GSH a été trouvées remarquablement améliorées (17,74)%, tandis que LAZ a augmenté les teneurs de cet élément **(Fig. 18)**. De plus, le niveau de GSH était encore plus élevé dans les tissus de 7 jours, à des intensités différentes (GSH: 1,02%,) en réponse à l'ajout conjoint de LAZ et de AGR.

Par contre, l'ajout externe de si a augmenté l'activité de GSH par rapport aux parties de la plante traitées aux pesticides **(Fig. 18)**.

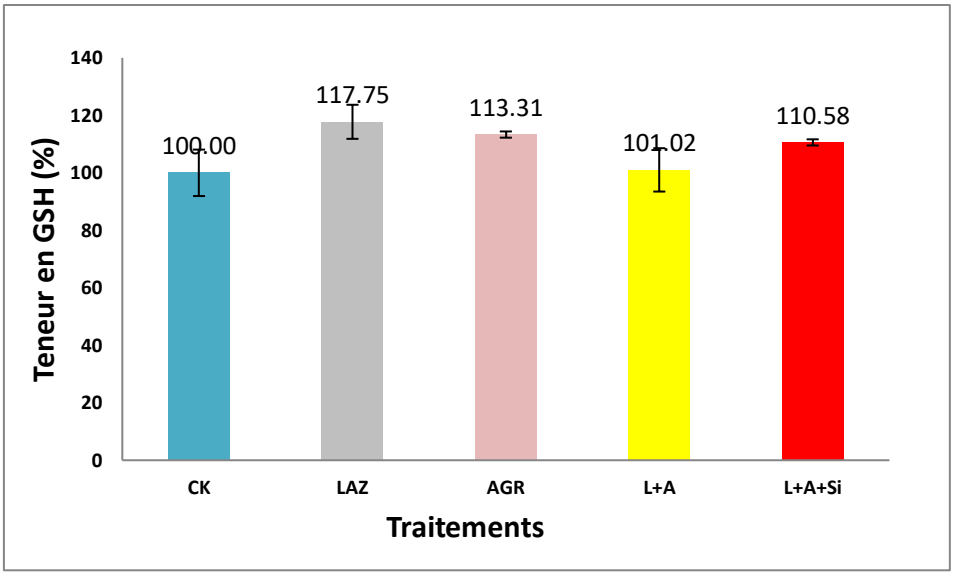


Figure 18: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs Glutathion (GSH) dans les tissus foliaires de tomate (originale).

Proline:

L'exposition de plantules de *Solanum lycopersicon*. À un stress lié au LAZ et/ou AGR pendant 7 jours a entraîné une augmentation de l'accumulation de Proline. En général. Lors de l'application individuelle de LAZ et d'AGR, le niveau de Proline estimé était de 107,57% et 111,72%, ce qui était comparativement plus élevés que ceux mesurés dans les tissus similaires des plantules témoins **(Fig. 19)**. Cependant, le traitement combiné de pesticides a entraîné une augmentation considérablement plus élevé c'est-à-dire (26,13%), de synthèse de Proline par rapport aux tissus témoins.

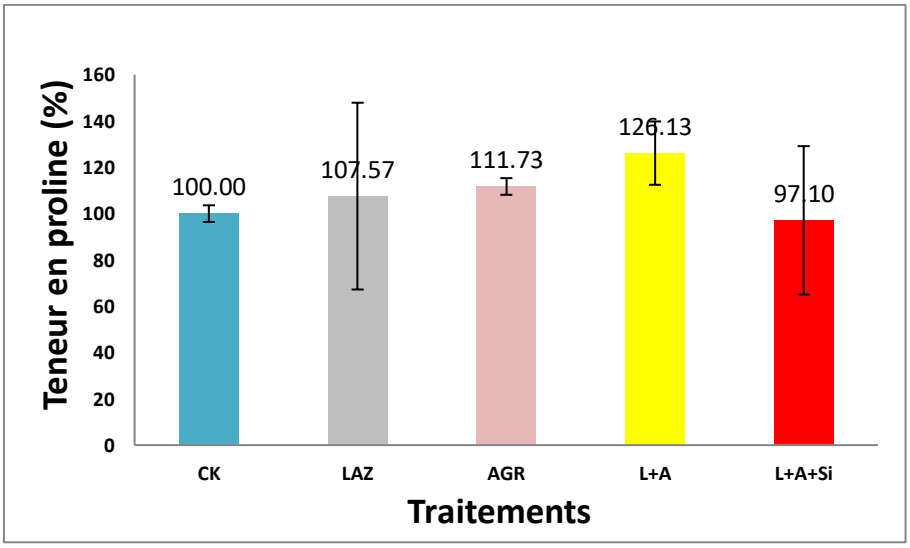


Figure 19: L'effet des pesticides LAZ, AGR et leur combinaison et du si sur les teneurs proline dans les tissus foliaires de tomate (originale).

Discussion:

Dans le monde moderne d'aujourd'hui, plusieurs produits chimiques toxiques sont déversés dans les champs agricoles en raison des pratiques agricoles modernes, de l'industrialisation lourde et de l'urbanisation plus rapide. En raison du taux accru d'attaques de ravageurs et de la tendance infructueuse dans la production de variétés de cultures résistantes aux ravageurs, les pesticides chimiques sont un outil courant pour protéger les cultures contre les ravageurs (Mahapatra et al., 2019). Au cours des dernières décennies, l'utilisation de pesticides a augmenté de plusieurs fois.

Une application excessive de pesticides peut interférer avec divers processus dans les plantes comme la croissance cellulaire, la photosynthèse, la respiration, les réactions biosynthétiques et la composition moléculaire des plantes (Shahzad et al., 2018; Shakir et al., 2018).

Le suivi de la longueur et de la biomasse des pousses et des racines reflète l'état réel de la croissance de toute plante. Dans cette étude, après 7 jours de traitements Les plantules de *Solanum lycopersicon* ont révélé une réduction de la longueur des pousses et des racines après traitements individuels par LAZ (19,67 et 16,22) respectivement et d'AGR (23,18 et 30,56) respectivement. Cette réduction de la croissance a été augmentée de manière substantielle lorsque ces deux facteurs de stress ont été appliqués simultanément (30,72 et 34,33) respectivement.

La réduction morphologique sous traitement au LAZ et/ou AGR peut être due à la perturbation de divers processus métaboliques (Touzout et al., 2021), D'autre part, la réduction des paramètres de croissance sous le stress des pesticides peut être due à la perturbation des chloroplastes et à la baisse du potentiel hydrique dans les cellules des plantes, ce qui entraîne la fermeture des stomates. Enfin, une inhibition de la division cellulaire (Xia et al., 2006).

La photosynthèse est un processus physico-chimiques de base pour maintenir la vie des plantes et leurs diverses activités. À partir desquelles les synthèses de composés organiques (glucides) se produisent grâce à l'utilisation de l'énergie lumineuse. La chlorophylle qui permet aux plantes d'obtenir de l'énergie à partir de la lumière est vitale pour la photosynthèse (Parween & Jan, 2019; Xia et al., 2006).

Le niveau de la concentration totale de Chl est postulé comme un indicateur simple et fiable de divers stress abiotiques (Les pesticides) chez les plantes (Touzout et al., 2021).

Les résultats de la présente étude ont montré une diminution du contenu de Chl total dans les tissus soumis au LAZ ou AGR (55,71% et 30,88%) respectivement. De plus, le degré

de réduction était encore plus élevé en réponse au traitement combiné LAZ+AGR (64,59%), par rapport à leurs contrôles respectifs. Il a été démontré que les pesticides inhibent la synthèse des Chl en altérant l'absorption d'éléments essentiels comme le Mg^{2+} par les plantes et endommage l'appareil photosynthétique (Sharma et al., 2019). En plus l'accumulation excessive de ERO, l'inhibition de la δ-aminolaevulinate déshydrogénase et la modification de la composition lipidique des membranes thylakoïdes ont été également tenus responsables de la réduction de Chl dans les plantes stressées par le pesticides (Xia et al., 2009). Touzout et al., (2021) ont démontré que l'exposition à l'imidaclopride (IMI) inhibe la synthèse de Chl dans les feuilles de tomate.

Des études ont révélé que l'utilisation de pesticides peut causer plusieurs effets néfastes sur les plantes hôtes non ciblées, l'altération des processus de reproduction de la pomme de terre (Parween & Jan, 2019), la perturbation de la photosynthèse et les activités enzymatiques chez le concombre (Xia et al., 2006), la germination et la croissance retardées chez le soja, la perturbation des paramètres morphologiques et physiologiques chez le maïs et la croissance et la production altérées de la photosynthèse pigments dans la tomate. Ces effets indésirables insaisissables peuvent s'additionner et entraîner des pertes économiques lorsque plusieurs cultures sont cultivées (Mahapatra et al., 2019; Parween & Jan, 2019; Xia et al., 2006).

Dans la présente étude, l'exposition des plantules de *Solanum lycopersicon* au LAZ et/ou AGR pendant une semaine a diminué la croissance et le contenu total de Chl, L'étude actuelle a révélé que l'application combinée de pesticides était plus dommageable pour les plantules de *Solanum lycopersicon* que leur application seule.

L'exposition des plantes aux différents stress abiotiques provoque l'accumulation excessive d'ERO qui cause la peroxydation des lipides de la membrane. Par conséquent, une réduction du l'index de stabilité membranaire (MSI) et une augmentation du taux d'électrolytes (EL) des cellules (Gill & Tuteja, 2010; Soares et al., 2019).

La teneur en MDA, une mesure importante du degré de lésion oxydative, a considérablement augmenté dans les feuilles de *Solanum lycopersicon* exposés au LAZ et/ou AGR pendant 7 jours consécutifs. Similaire à nos conclusions Liu et al., (2019) Observé une augmentation de la teneur en MDA dans différents tissus de *Salvinia natans*(L.) exposée à glyphosate et/ou Cu. Le MDA réagissent intimement avec divers composants cellulaires, inhibant les enzymes clés et réduisant la fluidité des membranes plasmiques, par conséquent des altérations de leur structure et de leur intégrité physiologique (Gill & Tuteja, 2010).

À cet égard, Mahapatra et al., (2019) ont démontré que les pesticides pénètrent facilement dans les tissus radiculaires et modifie les propriétés physiques des membranes, ce qui entraîne une fuite des constituants cellulaires.

L'accumulation d'ERO induite par les pesticides est contrecarrée par diverses réactions enzymatiques (SOD, CAT, APX et POD) et, des antioxydants non-enzymatiques de faible poids moléculaire tels que Pro, flavonoïdes, GSH, etc. (Gill & Tuteja, 2010; Soares et al., 2019).

Les plantules de tomates soumis à des traitements au LAZ et/ou AGR ont montré une accumulation excessive de H_2O_2 (9,13 et 73,09) respectivement, après 7 jours, cependant, leur combinaison a induit comparativement plus de synthèses de ce ERO non radicaux

La toxicité des pesticides a entraîné une explosion de la synthèse de H_2O_2 dans les plantules de *Solanum lycopersicon*.

Le peroxyde d'hydrogène est l'un des ERO, et une concentration accrue de celui-ci qui comprennent l'activation d'enzymes antioxydants, l'expression de gènes et l'apparition de dommages cellulaires (Soares et al., 2019).

La présence de stress de LAZ et/ou AGR ont été signalées comme conduisant à l'accrétion d'ERO et à l'affaiblissement de la capacité de piégeage des radicaux libres des plantes affectées. En harmonie, une augmentation considérable de niveau de H_2O_2 (51,26%), a été détecté dans *Solanum lycopersicon* traitée conjointement avec du LAZ et/ou AGR ce qui pourrait être le résultat de l'épuisement du mécanisme de protection dans les tissus stressés.

L'accumulation élevée d'ERO en réponse aux pesticides indique clairement que la CAT, l'APX et la GST n'étaient pas disponibles en quantités suffisantes pour éliminer l'excès d'ERO produit en conséquence du stress causé par les pesticides. Un changement identique dans la génération de radicaux libres sous stress aux pesticides a également été observé chez les plantules de tomate (Touzout et al., 2021).

La réponse des enzymes (CAT, APX et GST) impliquées dans la limitation d'ERO dépend essentiellement de l'espèce, de l'âge et de l'état et des conditions de croissance des plantes (Ahammed et al., 2013), Nos résultats ont montré une augmentation significative de l'activité de la CAT dans les tissus foliaires de *Solanum lycopersicon* sous exposition aux LAZ et/ou AGR après 7 jours de (3,51% et 17,42%) respectivement. L'augmentation de l'activité de la CAT est généralement attribuée à une augmentation de la concentration de H_2O_2 Cette augmentation de l'activité est probablement due aux synthèses de novo des enzymes et des protéines (Soares et al., 2019), qui sont attribuée à l'induction du gène CAT par la voie de transduction du signal médiée par H_2O_2 (Mittler, 2017). L'augmentation de

l'activité de cette enzyme en réponse pesticides a également été déterminée par (Touzout et al., 2021).

Selon Gill & Tuteja, (2010), les différentes affinités de l'APX (gamme µM) et de la CAT (gamme mM) pour H_2O_2 suggèrent qu'elles appartiennent à deux classes différentes d'enzymes piégeant H_2O_2. L'APX pourrait être responsable du réglage fin des ERO à des fins de signalisation, tandis que la CAT pourrait être responsable de l'élimination de l'excès d'ERO lors de divers stress biotiques et abiotiques.

Dans la présente recherche, les activités de l'APX et de la CAT ont été amplifiées dans les tissus foliaires *Solanum lycopersicon* après 7 jours d'analyses. Les augmentations des activités de l'APX et de la CAT devraient probablement aider les plantes à surmonter l'accumulation excessive de H_2O_2 et peuvent également aider à tolérer les stress environnementaux, y compris les pesticides (Ahammed et al., 2013; Gill & Tuteja, 2010; Touzout et al., 2021).

Les glutathion-S-transférases (GST, EC 2.5.1.18) comprennent une vaste famille de protéines avec une grande variété de fonctions. Jusqu'à 90 gènes codant pour les GST sont transcrits dans différentes espèces végétales, dont la plupart sont induits de manière différentielle par le stress, et ils jouent un rôle important dans les mécanismes enzymatiques de piégeage des ERO dépendants des thiols (Hernández et al., 2015).

Dans cette étude, l'activité de la GST a montré une augmentation significative dans les plantules de *Solanum lycopersicon* traitées au LAZ et/ou AGR (508,81% et 286,69%) respectivement. Diverses approches et preuves montrent que les GST contribuent de manière substantielle à l'adaptation et à la tolérance aux stress environnementaux abiotiques tels que la sécheresse, la salinité et le stress dû au froid. Le glutathion S-transférases (GST) est utilisé pour détoxifier les xénobiotiques tel que les pesticides (Touzout et al., 2021).

L'accumulation de Proline dans des conditions environnementales défavorables reflète son implication active dans la tolérance au stress abiotique des plantes exposées. Et l'une des stratégies nécessaires pour compenser les conditions défavorables (Soares et al., 2019). Dans cette étude, l'exposition des plantules de *Solanum lycopersicon* à du LAZ ou à du AGR a provoqué l'accumulation de Proline de (7,57% et 11,72%) respectivement (Touzout et al., 2021).

Cependant, son niveau a encore augmenté lorsque les pesticides ont été appliqués simultanément pendant 7 jours (26,13%). Ce qui indique que l'accumulation de Pro a peut-être essayé d'aider les plantes stressées à se récupérer des lésions oxydatives. Le proline contribue à la stabilisation des structures sous-cellulaires (par exemple, les membranes et les

protéines), à l'élimination des radicaux libres, jouer le rôle de chaperon moléculaire et à tamponner le potentiel redox cellulaire dans des conditions de stress environnemental. L'augmentation de l'accumulation de proline a été déterminée précédemment par Touzout et al (2021) dans les plantules de tomate exposées à la pesticide imidaclopride.

Le glutathion participe à la réduction de H_2O_2 en H_2O avec la formation de liens disulfure entre deux GSH qui donnent naissance à GSSG, qui est ensuite réduit en GSH par le GR (Hernández et al., 2015; Soares et al., 2019).Dans ce contexte, l'exposition aux pesticides a révélé une augmentation des niveaux de GSH dans les feuilles de *Solanum lycopersicon*. De plus, l'accumulation de ces éléments a augmenté encore lors de l'application combinée de LAZ et d'AGR. Nos résultats sont conformes à ceux de (Ahammed et al., 2013; Touzout et al., 2021).

Sur la base des résultats énumérés, il est maintenant conclu que l'exposition aux pesticides a augmenté de manière significative l'accumulation d'ERO (H_2O_2) et les niveaux d'activités enzymatiques (CAT, APX et GST) et non enzymatiques (Pro et GSH) dans les tissus foliaires des plantes de *Solanum lycopersicon*. Cependant, l'addition conjointe de LAZ et/ou AGR a augmenté davantage les concentrations des ERO, ainsi que les composants antioxydants enzymatiques et non enzymatiques.

La présente étude, bien que l'augmentation des contenus des agents défensifs testés, enzymatiques et non enzymatiques, a été déterminée mais semblent être insuffisantes pour détoxifier les ERO surproduits, ce qui a par conséquent augmentation des blessures oxydatives dans les plantules de *Solanum lycopersicon*.

Les pesticides pénètre facilement dans les tissus radiculaires et modifie les propriétés physiques des membranes, entraînant ainsi une fuite des constituants cellulaires (Mahapatra et al., 2019). À l'inverse, l'ajout de Silicium en plus des pesticides a réduit le teneur de MDA.

Le Si a permis de réduire le taux de fuite des électrolytes cellulaires tout en augmentant la stabilité de la membrane. Ce phénomène témoigne de leur rôle défensif contre les dommages membranaires, dans des conditions de stress, en réduisant le rythme de génération des ERO et en renforçant la défense antioxydants (Ahanger et al., 2020; Soares et al., 2021).

La production d'ERO était étroitement contrôlée par les antioxydants ce qui a permis de réduire l'accrétion dans les plantules stressées traités avec Si pendant7 jours. Cette diminution de l'accumulation d'ERO peut probablement être due au rôle bénéfique connu de cette molécule dans la réduction de la génération de radicaux libres, l'extinction directe des ERO et la stabilisation des membranes cellulaires via l'amélioration de l'activité des

antioxydants en cas de stress (Debona et al., 2017). Des études similaires, Si réduire les teneurs élevées des ERO ont récemment été documentés chez la tomate (Soares et al., 2021).

La disponibilité des protéines, en quantité suffisante, est essentiellement requise pour faire face à une situation de stress et, pour une croissance et un développement normaux. L'exposition aux pesticides a conduit à une réduction du niveau de protéines totales.

L'ajout exogène de Si dans des plants stressés par les pesticides a permis de maintenir un taux de protéines totales comparativement plus élevé, probablement en stabilisant les structures des protéines, en modifiant leurs activités et/ou leurs fonctions, Sous l'effet des stress abiotiques, les systèmes antioxydants de la plupart des plantes sont activés, jusqu'à un certain point, pour faire face aux ERO surproduits (Debona et al., 2017; Imtiaz et al., 2016; Khan et al., 2020; Ma, 2004; Mostofa et al., 2021; Mundada et al., 2021; Soares et al., 2021).

En accord avec les résultats de plusieurs autres chercheurs (Soares et al., 2021), l'étude menée a également révélé une amélioration de la CAT des plants stressés LAZ et au AGR. Cependant, une augmentation supplémentaire d'activité de cet antioxydant a été déterminée en réponse à l'addition supplémentaire de Si aux plantules stressées. Ce qui pourrait être dû au rôle de signalisation de molécule appliquée. Ces résultats confirment que le silicium joue un rôle vital, dans la protection des plantes contre les stress abiotiques et dans la lutte contre les dommages oxydatifs, Les résultats rapportés ici sont en accord avec les conclusions de (Soares et al., 2021).

A notre connaissance, la présente étude a démontré pour la première fois le co-contamination du LAZ et du AGR sur la croissance et le métabolisme des plantules de *Solanum lycopersicon* et sa gestion suite à l'application de silicium, L'addition combinée de LAZ et/ou AGR a sévèrement réduit la croissance des plantes, le contenu total de Chl et de protéines totales, tout en augmentant le niveau de ERO et de protéines totales. A augmenté les niveaux d'activité ERO, MDA.

De l'autre côté, l'ajout exogène de silicium exogène ont efficacement géré les réponses de croissance et les impacts dommageables des molécules cytotoxiques et des marqueurs oxydatifs. Dans les parties de plantes traitées aux pesticides. Le présent travail a démontré que la protection de *Solanum lycopersicon* par le silicium contre les blessures imposées par les pesticides était le résultat de la stabilisation des membranes et des structures protéiques, ainsi que de l'augmentation de l'activité des enzymes antioxydants.

Conclusion

Le traitement exogène par Si sur les plantules de tomates peut atténuer avec succès les effets néfastes de la toxicité du LAZ et AGR et leur combinaison en s'accumulant dans les plantes et en attaque directement la croissance et le développement des plantules, ainsi qu'en induisant une modulation physiologique et biochimique. En particulier, l'application de Si a considérablement amélioré la croissance, la teneur en chlorophylle, réduit la toxicité des pesticides et atténué le stress oxydative induite par le stress causée par le stress combiné LAZ et AGR en diminuant la teneur en MDA grâce à la modulation des activités des enzymes antioxydants. De plus, l'atténuation des effets dangereux des pesticides par le traitement au Si a entraîné une régulation positive des métabolites antioxydants (proline, thiols, flavonoïdes), Ces résultats suggèrent que l'application de Si aux tomates sous stress abiotique combiné peut être une stratégie efficace pour améliorer la croissance et le développement du tomate, ainsi que pour assurer une consommation alimentaire plus sûre dans des conditions de sol contaminées par les pesticides. A l’avenir il serait intéressant de compléter ce travail par l’évaluation de l’effet de ce traitement sous-sol sur d’autres métabolites secondaires, Il faudrait mesurés notamment d’autres enzymes de détoxification. Les résultats actuels fournissent de nouvelles preuves physiologiques et biochimiques mettant en évidence les pesticides étudiés en tant que facteur de stress abiotique émergent, et soulignent la nécessité de poursuivre les recherches sur les résidus des pesticides dans les environnements agricoles naturels.

Aebi, H. (1984). [13] Catalase in Vitro. In *Methods in Enzymology* (Vol. 105, Issue C, pp. 121–126). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Ahammed, G. J., Choudhary, S. P., Chen, S., Xia, X., Shi, K., Zhou, Y., & Yu, J. (2013). Role of brassinosteroids in alleviation of phenanthrene-cadmium co-contamination-induced photosynthetic inhibition and oxidative stress in tomato. *Journal of Experimental Botany*, *64*(1), 199–213. https://doi.org/10.1093/jxb/ers323

Ahanger, M. A., Bhat, J. A., Siddiqui, M. H., Rinklebe, J., & Ahmad, P. (2020). Integration of silicon and secondary metabolites in plants: A significant association in stress tolerance. *Journal of Experimental Botany*, *71*(21), 6758–6774. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa291

Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, *2*(1), 1.

Anderson, M. E. (1985). [70] Determination of glutathione and glutathione disulfide in biological samples. In *Methods in Enzymology* (Vol. 113, Issue C, pp. 548–555). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(85)13073-9

Ayad-Mokhtari, N. (2012). Identification et dosage des pesticides dans l'Agriculture et les problèmes d'environnement liés. *Magister Thesis, University of Oran, Oran, 87p*.

Alzahrani, Y., Kuşvuran, A., Alharby, H. F., Kuşvuran, S., & Rady, M. M. (2018). The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium. *Ecotoxicology and environmental safety*, *154*, 187-196.

Andral, B. (1996). Données sur le comportement et les effets des produits phytosanitaires dans l'environnement.

Baran, N., & Barras, A. . (2008). *Processus de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les eaux souterraines en Martinique Rapport de phase 1*.p.69.

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205–207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

BENTAMRA, Z. Labed, L. (2018). *Etude technique du palissage des cultures protégées :Cas de la tomate*, Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem).

Bettiche, F. (2017). *Usages des produits phytosanitaires dans les cultures sous serres des Ziban (Algérie) et évaluation des conséquences environnementales possibles* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Kheider-Biskra).

Bhat, J. A., Shivaraj, S. M., Singh, P., Navadagi, D. B., Tripathi, D. K., Dash, P. K., ... & Deshmukh, R. (2019). Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants. *Plants*, *8*(3), 71.

Bilal, M., Iqbal, H. M., & Barceló, D. (2019). Persistence of pesticides-based contaminants in the environment and their effective degradation using laccase-assisted biocatalytic systems. *Science of The Total Environment*, *695*, 133896.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1–2), 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Brouwer, A., Longnecker, M. P., Birnbaum, L. S., Cogliano, J., Kostyniak, P., Moore, J., ... & Winneke, G. (1999). Characterization of potential endocrine-related health effects at low-dose levels of exposure to PCBs. *Environmental health perspectives*, *107*(suppl 4), 639-649.

Calvet, R., Barriuso, E., Bedos, C., Benoit, P., Caharnay, M.-P., & Coquet, Y. (2005). *Les pesticides dans le sol, conséquences agronomiques et environnementales*.Edition France Agricole.p 636.

Crisp, T. M., Clegg, E. D., Cooper, R. L., Wood, W. P., Anderson, D. G., Baetcke, K. P., ... & Bull, K. (2003). Protocol to the 1979 convention on long-range transboundary air pollution on persistent organic pollutants: the 1998 agreement for the UNECE region. In *Persistent organic pollutants* (pp. 1-11). Springer, Berlin, Heidelberg.

Dashevskaya, S., Horn, R., Chudobova, I., Schillberg, S., Vélez, S. M. R., Capell, T., & Christou, P. (2013). Abscisic acid and the herbicide safener cyprosulfamide cooperatively enhance abiotic stress tolerance in rice. *Molecular breeding*, *32*(2), 463-484.

Debona, D., Rodrigues, F. A., & Datnoff, L. E. (2017). Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. *Annual Review of Phytopathology*, *55*, 85–107. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035312

Dhiman, P., Rajora, N., Bhardwaj, S., Sudhakaran, S. S., Kumar, A., Raturi, G., ... & Deshmukh, R. (2021). Fascinating role of silicon to combat salinity stress in plants: An updated overview. *Plant Physiology and Biochemistry*, *162*, 110-123.

Doganlar, Z. B. (2012). Physiological and genetic responses to pesticide mixture treatment of Veronica beccabunga. *Water, Air, & Soil Pollution*, *223*(9), 6201-6212.

Domange, N. (2005). *Etude des transferts de produits phytosanitaires à l'échelle de la parcelle et du bassin versant viticole (Rouffach, Haut-Rhin)* (Doctoral dissertation, Université Louis Pasteur-Strasbourg I).

El ahouel, A. (2020). Synthèse et caractérisation d'un silicone. L'effet de silicone sur la composition d'un sérum andrea dottie. , *Mémoire de master, université de Blida* 1.

FAO, (2007). www.fao.org

Fatima, N. (2014). Evaluation de la rémanence de l'herbicide Glyphosate dans les cultures maraîchères de la wilaya de Jijel, mémoire de magister. *Université Constantine*, *1*.

Ferfar, M. (2017). *Toxicité et bioaccumulation de pesticides sur quelque variétés de blé dur (T. durum Desf)* (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat, Université Badji Moktar de Annaba (Algérie)).

Gamet-Payrastre, L. (2019). Impact des mélanges de pesticides. *Innovations Agronomiques*, *73*, 51-59.

Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(12), 909–930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *125*(1), 189–198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

He, B., Ni, Y., Jin, Y., & Fu, Z. (2020). Pesticides-induced energy metabolic disorders. *Science of The Total Environment*, *729*, 139033.

Hernández, L. E., Sobrino-Plata, J., Montero-Palmero, M. B., Carrasco-Gil, S., Flores-Cáceres, M. L., Ortega-Villasante, C., & Escobar, C. (2015). Contribution of glutathione to the control of cellular redox homeostasis under toxic metal and metalloid stress. *Journal of Experimental Botany*, *66*(10), 2901–2911. https://doi.org/10.1093/jxb/erv063

Imtiaz, M., Rizwan, M. S., Mushtaq, M. A., Ashraf, M., Shahzad, S. M., Yousaf, B., Saeed, D. A., Rizwan, M., Nawaz, M. A., Mehmood, S., & Tu, S. (2016). Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: A review. *Journal of Environmental Management*, *183*, 521–529. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.009

Kaouthar, L. G., Manel, S., Mouna, M., & Ridha, B. (2010). Lutte intégrée contre la mineuse de la tomate, Tuta absoluta Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) en Tunisie. *Entomologie Faunistique-Faunistic Entomology*.

Khan, A., Bilal, S., Khan, A. L., Imran, M., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A., & Lee, I. J. (2020). Silicon-mediated alleviation of combined salinity and cadmium stress in date palm (Phoenix dactylifera L.) by regulating physio-hormonal alteration. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *188*(October 2019), 109885. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109885

Khare, S., Singh, N. B., Singh, A., Hussain, I., Niharika, K., Yadav, V., ... & Amist, N. (2020). Plant secondary metabolites synthesis and their regulations under biotic and abiotic constraints. *Journal of Plant Biology*, *63*(3), 203-216.

Liao, X., Zhang, C., Wang, Y., & Tang, M. (2017). The abiotic degradation of methyl parathion in anoxic sulfur-containing system mediated by natural organic matter. *Chemosphere*, *176*, 288-295.

LICHTENTHALER, H. K., & WELLBURN, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents . In *Biochemical Society Transactions* (Vol. 11, Issue 5, pp. 591–592). Portland Press Ltd. https://doi.org/10.1042/bst0110591

Liu, L., Bilal, M., Duan, X., & Iqbal, H. M. (2019). Mitigation of environmental pollution by genetically engineered bacteria—current challenges and future perspectives. *Science of The Total Environment*, *667*, 444-454.

Liu, N., Zhong, G., Zhou, J., Liu, Y., Pang, Y., Cai, H., & Wu, Z. (2019). Separate and combined effects of glyphosate and copper on growth and antioxidative enzymes in Salvinia natans (L.) All. *Science of the Total Environment*, *655*, 1448–1456. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.213

Ma, J. F. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, *50*(1), 11–18. https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408447

Mahapatra, K., De, S., Banerjee, S., & Roy, S. (2019). Pesticide mediated oxidative stress induces genotoxicity and disrupts chromatin structure in fenugreek (Trigonella foenum - graecum L.) seedlings. *Journal of Hazardous Materials*, *369*, 362–374. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.056

Mahdjouba, B. A. D. A. O. U. I. (2018). *Contribution à l'étude de la dynamique des populations de Tuta absoluta Meyrick (Lepidotera; Gelechiidae) et essais de controle biologique sur la culture de tomate* (Doctoral dissertation, Universite Abdelhamid Ibn Badis).

Mitra, J., & Raghu, K. (1998). Pesticides-non target plants interactions: An overview. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *43*(6), 445-500.

Mittler, R. (2017). ROS Are Good. *Trends in Plant Science*, *22*(1), 11–19. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002

Morillo, E., & Villaverde, J. (2017). Advanced technologies for the remediation of pesticide-contaminated soils. *Science of the Total Environment*, *586*, 576-597.

Mostofa, M. G., Rahman, M. M., Ansary, M. M. U., Keya, S. S., Abdelrahman, M., Miah, M. G., & Phan Tran, L. S. (2021). Silicon in mitigation of abiotic stress-induced oxidative damage in plants. *Critical Reviews in Biotechnology*, *41*(6), 918–934. https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1892582

Mundada, P. S., Jadhav, S. V., Salunkhe, S. S., Gurme, S. T., Umdale, S. D., Barmukh, R. B., Nikam, T. D., & Ahire, M. L. (2021). Silicon and Plant Responses Under Adverse Environmental Conditions. *Plant Performance Under Environmental Stress*, 357–385.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-78521-5_14

Naika, S., Lidth de Jeude, J. V., Goffau, M. D., Hilmi, M., & Dam, B. V. (2005). La culture de la tomate: production, transformation et commercialisation. *Agrodok*.

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, *22*(5), 867–880. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232

Parween, T., & Jan, S. (2019). Physiological impacts of pesticides on crop. In *Ecophysiology of Pesticides*. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817614-6.00004-4

Parween, T., & Jan, S. (2019). *Ecophysiology of Pesticides: Interface between Pesticide Chemistry and Plant Physiology*. Academic Press.

Patel, Y. M. (1998). Environmental endocrine disruption: an effects assessment and analysis. *Environmental health perspectives*, *106*(suppl 1), 11-56.

REKIBI, F. (2015). *Analyse compétitive de la filière tomate sous serre. Cas de la Wilaya de Biskra* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).

RIBEREAU-GAYON, J. (1970). Effets des pesticides sur la biochimie de la vigne. *OENO One*, *4*(2), 231-234.

Polese, J. M. (2007). *La culture des tomates*. Editions Artemis.

Serra, A. A. (2015). *Réponses écophysiologiques et moléculaires des plantes aux stress xénobiotiques complexes de faible intensité: implications dans les capacités de protection environnementale des bandes enherbées* (Doctoral dissertation, Université Rennes 1).

Shahzad, B., Tanveer, M., Che, Z., Rehman, A., Cheema, S. A., Sharma, A., Song, H., Rehman, S. ur, & Zhaorong, D. (2018). Role of 24-epibrassinolide (EBL) in mediating heavy metal and pesticide induced oxidative stress in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *147*, 935–944. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.066

Shakir, S. K., Irfan, S., Akhtar, B., Rehman, S. ur, Daud, M. K., Taimur, N., & Azizullah, A. (2018). Pesticide-induced oxidative stress and antioxidant responses in tomato (Solanum lycopersicum) seedlings. *Ecotoxicology*, *27*(7), 919–935. https://doi.org/10.1007/s10646-018-1916-6

Sharma, A., Yuan, H., Kumar, V., Ramakrishnan, M., Kohli, S. K., Kaur, R., Thukral, A. K., Bhardwaj, R., & Zheng, B. (2019). Castasterone attenuates insecticide induced phytotoxicity in mustard. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *179*, 50–61. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.120

Sharma, A., Kumar, V., Thukral, A. K., & Bhardwaj, R. (2019). Responses of plants to pesticide toxicity: An overview. *Planta Daninha*, *37*.

Singleton, V. L., Rossi Jr., J. A., & Rossi J A Jr. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144–158. http://www.ajevonline.org/cgi/content/abstract/16/3/144

Snoussi S.A., 2010 - Etude de base sur la Tomate en Algérie. Rapport de mission GTFS/ REM/070/
/ITA Programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient. 53p.

Soares, C., Carvalho, M. E. A., Azevedo, R. A., & Fidalgo, F. (2019). Plants facing oxidative challenges—A little help from the antioxidant networks. *Environmental and Experimental Botany*, *161*, 4–25. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.12.009

Soares, C., Nadais, P., Sousa, B., Pinto, E., Ferreira, I. M. P. L. V. O., Pereira, R., & Fidalgo, F. (2021). Silicon improves the redox homeostasis to alleviate glyphosate toxicity in tomato plants—are nanomaterials relevant? *Antioxidants*, *10*(8). https://doi.org/10.3390/antiox10081320

Touzout, N., Mehallah, H., Moralent, R., Moulay, M., & Nemmiche, S. (2021). Phytotoxic evaluation of neonicotinoid imidacloprid and cadmium alone and in combination on tomato (Solanum lycopersicum L.). *Ecotoxicology*, *30*(6), 1126–1137. https://doi.org/10.1007/s10646-021-02421-6

Souri, Z., Khanna, K., Karimi, N., & Ahmad, P. (2021). Silicon and plants: current knowledge and future prospects. *Journal of Plant Growth Regulation*, *40*(3), 906-925.

Varjani, S. J., Joshi, R. R., Senthil Kumar, P., Srivastava, V. K., Kumar, V., Banerjee, C., & Praveen Kumar, R. (2018). Polycyclic aromatic hydrocarbons from petroleum oil industry activities: effect on human health and their biodegradation. In *Waste bioremediation* (pp. 185-199). Springer, Singapore.

Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, *151*(1), 59–66. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1

Truffault, V. (2015, November). Oxydation et dégradation de l'ascorbate chez la tomate et impact sur la croissance et le métabolisme. Avignon.

Wołejko, E., Jabłońska-Trypuć, A., Wydro, U., Butarewicz, A., & Łozowicka, B. (2020). Soil biological activity as an indicator of soil pollution with pesticides–a review. *Applied Soil Ecology*, *147*, 103356.

Xia, X. J., Huang, Y. Y., Wang, L., Huang, L. F., Yu, Y. L., Zhou, Y. H., & Yu, J. Q. (2006). Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in Cucumis sativus L. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *86*(1), 42–48. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.01.005

Xia, X. J., Zhang, Y., Wu, J. X., Wang, J. T., Zhou, Y. H., Shi, K., Yu, Y. L., & Yu, J. Q.

(2009). Brassinosteroids promote metabolism of pesticides in cucumber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(18), 8406–8413. https://doi.org/10.1021/jf901915a

Zhang, J. J., & Yang, H. (2021). Metabolism and detoxification of pesticides in plants. *Science of the Total Environment*, *790*, 148034.

Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, *64*(4), 555–559. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2

Zhu, Y. X., Gong, H. J., & Yin, J. L. (2019). Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: a review. *Plants*, *8*(6), 147.